보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

국토교통기술사업화지원사업 제2차년도 최종보고서

발 간 등 록 번 호
11-1613000-001359-01

R&D / 15TBIP-C073312-02

자연암반형 판넬을 이용한 원지반 부착식 옹벽 개발 최종보고서

2016. 08. 16

주관연구기관 / (주)세종이엔씨

공동연구기관 / (주)브니엘컨설턴트

위탁연구기관 / 우송대학교산학협력단

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

Ministry of Land Infrastructure and Transport

R&D Report

R&D / 15TBIP-C073312-02

자연암반형 판넬을 이용한 원지반 부착식 옹벽 개발

2016

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화 지원사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

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

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'자연암반형 판넬을 이용한 원지반 부착식 옹벽 개발'(연구개발 기간 : 2014. 06. 02 ~ 2016. 06. 01) 과제의 최종보고서 1부를 제출합니다.

2016. 08. 16

주관연구기관명 : (주)세종이엔씨 (인)

공동연구기관명 : (주)브니엘컨설턴트 (인)

위탁연구기관명 : 우송대학교산학협력단 (인)

주관연구기관책임자 : 민 경 남 (인)

공동연구기관책임자 : 강 인 규 (인)

위탁연구기관책임자 : 안 태 봉 (인)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제
고유 번호</td><td>15TBIP-
C073312-02</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td colspan="2">2015. 06. 02 ~
2016. 06. 01</td><td>단계구분</td><td colspan="2">2단계 / 2단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="6">국토교통기술사업화 지원사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="6">중소기업 보유기술 사업화 분야</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="6">-</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="6">자연암반형 판넬을 이용한 원지반 부착식 옹벽 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">민 경 남</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총 : 21 명
내부 : 21 명
외부 : - 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td colspan="2">정부 : 273,000 천원
기업 : 203,432 천원
정부 외 : - 천원
계 : 476,432 천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참여
연구원 수</td><td>총 : 21 명
내부 : 21 명
외부 : - 명</td><td>총 연구개발비</td><td colspan="2">정부 : 546,000 천원
기업 : 406,864 천원
정부 외 : - 천원
계 : 952,864 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명
및
소속 부서명</td><td colspan="3">주관연구기관 명 : (주)세종이엔씨</td><td colspan="4">공동연구기관 명 : (주)브니엘컨설턴트</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">-</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명 : 우송대학교 산학협력단</td><td colspan="4">연구책임자 : 안 태 봉</td></tr>
<tr><td colspan="7"></td><td>보고서 면수 : 170</td></tr>
</table>

1. 연구개발 결과의 우수성
   - 패널의 두께(기존 200mm이상 → 150mm) 감소를 통하여 콘크리트 패널의 경량화(기존 800kg이상 → 670kg) 및 재료비 절감효과 우수
   - 비탈면 굴착 시 수직굴착을 실시(기존 1:0.3 이상 → 수직)하여 터파기가 감소함에 따라 부지활용 극대화 및 토공량 감소(토공량 8.75m^3/m 감소, 추가부지 확보 3.5m^2/m)
   - 패널 설치 시 개발기술은 원지반 부착식으로 기존의 적층식 패널에 필요한 터파기 및 되메우기 공종을 삭제함으로써 공사비 절감효과 우수
   - 패널 전면에 자연암반질감을 표현함으로써 기존의 단순문양 콘크리트 패널의 경관성 저하 문제 개선

2. 연구개발 결과의 파급효과
   - 패널의 경량화, Top-down 방식의 부착식 시공법 구현을 통해 대형장비 사용으로 인한 에너지 소모를 최소화 할 수 있으며 토공량 감소에 따른 토공처리 물류비용 감소로 공사비 절감 및 에너지 절약에 크게 이바지할 것으로 기대됨
   - 자연암반형 패널의 적용을 통해 전면 콘크리트 노출에 의한 위압감 조성 및 경관성 저하 문제를 개선함으로써 도심지 개발 및 국가 인프라시설 구축에 개발기술의 적용이 확대될 것으로 전망됨
   - 해외시장조사, 베트남 기술교류 및 국제협력을 통한 글로벌 네크워크 구축을 통해 해외 진출 거점 마련 및 기술수출 효과 기대

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	• 기존의 일반적인 옹벽은 콘크리트의 자중으로 옹벽의 안정성을 확보하는 형식으로 옹벽이 거대해지고 콘크리트 사용량도 많아지게 되며 옹벽 설치를 위한 터파기 및 되메우기 양이 과다하여 심각한 환경훼손 문제를 야기하였으며, 주변 환경과 조화를 이루지 못해 경관성을 저해시키는 요인으로 지적되어 왔다. • 패널식 옹벽은 원지반 강도를 최대한 보호하며 보강시키는 공법으로 일반 중력식 옹벽과는 달리 Ground Anchor, Earth Bolt, Soil Nailing 등의 지보재 보강을 통해 원지반의 전단강도를 증가시키고 전면판인 프리캐스트 패널과 지보재를 체결하여 개별적 중력식 벽체를 형성시킴으로써 수평토압에 저항하는 공법이다. • 프리캐스트 패널에 별도의 보강재를 병행 적용함으로써 기존 옹벽에서 발생하던 원지반 과다절취 및 콘크리트 현장타설에 의한 공기지연 등의 문제는 다소 개선되었지만, 옹벽 전면 콘크리트 노출로 인한 경관성 저하문제와 더불어 여전히 미결과제로 남아있는 실정이다. • 이러한 기존 기술의 미결과제인 원지반 과다 절취, 공기지연, 경관성 저하 등에 따른 문제점을 해결하고자 하는 것이 본 연구과제의 목적이다.				
연구개발 성과	• 패널의 두께(기존 200mm이상 → 150mm) 감소를 통하여 콘크리트 패널의 경량화(기존 800kg이상 → 670kg) 및 재료비 절감효과 우수 • 비탈면 굴착 시 수직굴착을 실시(기존 1:0.3 이상 → 수직)하여 터파기가 감소함에 따라 부지활용 극대화 및 토공량 감소(토공량 8.75m^3/m 감소, 추가부지 확보 3.5m^2/m) • 패널 설치 시 개발기술은 원지반 부착식으로 기존의 적층식 패널에 필요한 터파기 및 되메우기 공종을 삭제함으로써 공사비 절감효과 우수 • 원지반 부착식 패널의 적용으로 현장조건에 따라 1단씩 Top-Down 시공이 가능하여 대형 장비 적용 없이 소형장비를 이용하여 시공 가능 • 패널 전면에 자연암반질감을 표현함으로써 기존의 단순문양 콘크리트 패널의 경관성 저하 문제를 개선 • 유사기술 분석결과, 개발중인 '자연암반형 패널을 이용한 원지반 부착식 옹벽'은 기존기술 대비 원지반 굴착방법, 패널의 부착방식, 시공방법, 전면문양 등에서 차별성이 큰 것으로 분석됨 • 유사특허 분석결과에서도 개발기술은 핵심특허 대비 기술적 차별성이 큰 것으로 분석됨				
연구개발 성과의 활용계획	• 자연암반표면처리 기술은 패널식 옹벽뿐만 아니라 기존 중력식 옹벽의 미관개선, 도심지 조경, 실내 건축 분야에서 활용가능성이 높음 • 또한, 도로, 철도, 단지 등의 토목공사시 부지매입이 곤란하거나 경관조성 및 생태복원이 필요한 장소에서도 활용가능함 • 환경성, 경제성이 우수한 자연암반형 패널을 이용한 원지반 부착식 옹벽은 도심지 주변으로 예정중인 국가 인프라 구축사업에서도 적용가능성이 높음 • 또한, 해외시장조사결과 개발기술에 대한 적극적 홍보만 뒷받침된다면 해외시장 진출도 가능할 것으로 전망됨 • 특히 국가 인프라 구축사업을 준비·개발중인 베트남과 같은 동남아 개발도상국을 주요 대상으로 마케팅을 수행한다면 사업화 성과가 있을 것으로 판단됨				
핵심어	패널식 옹벽	자연암반형	원지반 부착식	수직굴착	Top-Down 시공

SUMMARY

Purpose & Contents	• New building methods are needed to aid increased inner-city redevelopment and industrial construction. • A particular area of improvement is the efficient use of cut slopes, with the minimization of associated problems. • A retaining wall of precast panels can resist the horizontal earth pressure by increasing the shear strength of the ground and reinforcing it through contact with the panels. Precast panels allow quick construction and avoid the problem of concrete deterioration. • Other problems to be solved include the digging of borrow pits, the disposal of material cut from the slope, and degradation of the landscape caused by the exposed concrete retaining wall. • This study suggest the methods of improvement of an existing precast panel wall system by changing the appearance of the panels to that of natural rock and improving the process of adhering the panel to a vertical slope.
Results	• The panels were tested in the laboratory and in the field. The laboratory test verified their specific strength and behavior, and the field test assessed the panels' ground adherence at a vertical cutting. • Reinforcement of the cutting slope was also measured and compared with the results of 3D numerical analysis. The results of laboratory test, identified that the shear bar increase the punching resistance of panel. And as a results of test construction, identified the construct ability and field applicability of the panel wall system adhered to in-situ ground. • In addition to that, extended measurement and numerical analysis, identified the long-term stability of panel wall system adhered to in-situ ground.
Expected Contribution	• Natural rock surface treatment technique has high applicability not only in panel wall system but also gravity retaining wall system to improve the landscape in downtown area and indoor gardening. • Also has high applicability in public work such as highway, railroad and complex, where has the land purchase problem and needs of scenery construction or restoration of ecological system. • Retaining wall system which use the panel engraved natural rock can be applied to the national infrastructure project which is planned near the downtown because the environmental performance and economic feasibility. • According to the results of oversea market trend, it is possible that the oversea market expansion if the publicity activities supported. • Especially in a developing country such as south-east asia which planning the national infrastructure project, it is predicted that the commercialization results of developed technology.

Keywords	Panel Wall	Natural Rock Surface	Ground Adhere	Vertical Excavation	Top-Down Construction

Table of Contents

Chapter 1. Summary of R&D ····· 1

1. Purpose of R&D ····· 1

2. Necessity of R&D ····· 2
   A. Background of R&D ····· 2
   B. Necessity of R&D ····· 3
   C. Problem of Existing Technology ····· 4

3. Scope of R&D ····· 6
   A. Surface Treatment Technology ····· 6
   B. Adhere to In-situ Ground Technology ····· 6
   C. Realization of Top-Down Construction Method ····· 7

4. Purpose of R&D ····· 8

5. Flow Chart of R&D ····· 8

Chapter 2. Current State of R&D in the Domestic and Oversea ····· 9

1. Summary ····· 9

2. Advanced Research ····· 9
   A. Similar Research ····· 9
   B. Differencing Method ····· 10

3. Patent Trend in the Domestic and Oversea ····· 11
   A. Technology Trend in the Domestic ····· 11
   B. Technology Trend in the Oversea ····· 12
   C. Patent Trend ····· 12
   D. In-depth Analysis about the Core Patent ····· 15

4. Originality of Technology ····· 17
A. Discrimination against the Similar Technology ····· 17
B. Discrimination against the Similar Patent ····· 19
C. Summary of Discrimination ····· 19

Chapter 3. Contents and Results of R&D ····· 20

1. Design the Panel Engraved with Natural Rock ····· 20
A. Summary ····· 20
B. Design the Panel Engraved with Natural Rock ····· 21
C. Make the Design Drawing ····· 23
D. Product a Prototype ····· 24

2. Selection the Reinforcements ····· 25
A. Summary ····· 25
B. Results of Selection ····· 26

3. Performance Evaluation by Lab Test (The First) ····· 27
A. Summary ····· 27
B. Standard Test ····· 27
C. Failure Loading Test ····· 28

4. Evaluation a In-situ Applicability of Prototype ····· 31
A. Summary ····· 31
B. Ground Investigation ····· 32
C. Reserve Analysis ····· 39
D. Test Construction ····· 42

5. Numerical Analysis ····· 48
A. Summary ····· 48
B. Results of Numerical Analysis ····· 48

6. Improvement the Retaining Wall System ····· 51
A. Improvement the Mold ····· 52
B. Improvement the Reinforcements ····· 54
C. Improvement the Landscape ····· 55
D. Improvement the Construction Method ····· 56

7. Performance Evaluation by Lab Test (The Second) ····· 60
A. Summary ····· 60
B. Results of Failure loading Test ····· 62

8. Evaluation a In-situ Applicability ····· 64
A. Summary ····· 64
B. Ground Investigation ····· 65
C. Reserve Analysis ····· 74
D. Test Construction ····· 78
E. Large Scale Loading Test ····· 87

9. Numerical Analysis ····· 108
A. Summary ····· 108
B. Boundary Condition and Analysis Method ····· 109
C. Results of Numerical Analysis ····· 111

10. Economic Analysis ····· 127
A. Summary ····· 127
B. Results of Economic Analysis ····· 128

11. R&D Performance Summary ····· 130

Chapter 4. Achievement and Contribution ····· 132

Chapter 5. Application Plan of R&D Results ····· 133

1. Market Prosect ····· 133
A. Market Prosect in Domestic ····· 133
B. Market Prosect in Oversea ····· 134

2. Promotion of Business ····· 135
A. Strategy of Business ····· 135
B. SWOT Analysis ····· 136

3. Application Plan at Office ····· 137

4. Marketing Strategy ····· 138
A. Market Trend Analysis ····· 138
B. Domestic Market Survey ····· 140
C. Marketing Mix ····· 142
D. Marketing Activity ····· 145
E. Total Marketing Strategy ····· 145

5. Oversea Market Expansion Strategy ····· 146
A. Market Trend in Vietnam ····· 146
B. Order Type of Construction ····· 146
C. Road Develope Plan in Vietnam ····· 149
D. Railway Develope Plan in Vietnam ····· 150
E. Market Expansion Strategy in Vietnam ····· 151

Chapter 6. Oversea Science and Technology Information ····· 154

1. Technology Trend in the Oversea ····· 154

2. Patent Trend in the Oversea ····· 154
A. Patent Trend According to Applicant ····· 156
B. Patent Trend According to Year ····· 157

Chapter 7. Security Level of R&D ····· 158

Chapter 8. Current State of Registrated Equipments ····· 159

Chapter 9. Performance Results of Safety Measure ····· 160

1. Safety Measure Plan ····· 160

2. Performance of Safety Measure ····· 160
A. Safety Check of Laboratory ····· 160
B. Safety Check of Construction Site ····· 161

Chapter 10. Record of R&D ····· 162

1. Thesis Record ····· 162

2. Conference Record ····· 162

3. Patent Record ····· 162

4. Commercialization Record ····· 162

Chapter 11. Other Details ····· 164

1. Development a Fly Ash Concrete Panel ····· 164
A. Development Background ····· 164
B. Development Plan ····· 165
C. Expectation Effectiveness ····· 166

Chapter 12. Reference ····· 168

1. Academic Material and Reports ····· 168

2. Book ····· 170

3. Publication of Unexamined Patent Application ····· 170

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 1

1. 연구개발 목적 ····· 1

2. 연구개발 필요성 ····· 2
가. 연구개발 배경 ····· 2
나. 기술개발 필요성 ····· 3
다. 기존기술의 문제점 ····· 4

3. 연구개발 범위 ····· 6
가. 미관을 고려한 자연암반형 표면처리 기술 ····· 6
나. 원지반 부착식 패널 설치 기술 ····· 6
다. Top-Down 방식의 시공방법 구현 ····· 7

4. 연구개발 목표 ····· 8

5. 연구개발 흐름도 ····· 8

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 9

1. 개요 ····· 9

2. 선행연구 조사 ····· 9
가. 국가연구개발사업 유사연구 ····· 9
나. 개발기술의 차별화 ····· 10

3. 국내외 관련 기술 특허 동향 ····· 11
가. 국내 기술 및 산업 동향 ····· 11
나. 국외 기술 및 산업 동향 ····· 12
다. 특허 동향 ····· 12
라. 핵심특허에 대한 심층분석 ····· 15

4. 기술의 독창성 ····· 17
가. 동종분야 유사기술과의 차별성 ····· 17
나. 동종분야 유사특허와의 차별성 ····· 19
다. 기존 기술과의 차별성 요약 ····· 19

제 3 장 연구 수행 내용 및 성과 ····· 20

1. 자연암반형 패널 설계 ····· 20
가. 개요 ····· 20
나. 자연암반형 패널 전면문양 제작 ····· 21
다. 자연암반형 패널 설계도면 작성 ····· 23
라. 시작품 생산 ····· 24

2. 보강재 선정 ····· 25
가. 보강재 선정 개요 ····· 25
나. 보강재 선정 결과 ····· 26

3. 실내시험을 통한 성능평가 (1차) ····· 27
가. 시험 개요 ····· 27
나. 패널 규격시험 ····· 27
다. 파괴 재하시험 ····· 28

4. 시작품의 현장 적용성 평가 ····· 31
가. 평가 개요 ····· 31
나. 지반조사 ····· 32
다. 예비해석 ····· 39
라. 시험시공 ····· 42

5. 수치해석적 검증 ····· 48
가. 수치해석 개요 ····· 48
나. 수치해석 결과 ····· 48

6. 원지반 부착식 옹벽공법 개선 ····· 51
가. 자연암반형 패널 몰드 개선 ····· 52
나. 배근형태 개선 ····· 54
다. 경관성 개선 ····· 55
라. 시공방법 개선 ····· 56

7. 실내실험을 통한 성능평가 (2차) ····· 60
가. 시험 개요 ····· 60
나. 파괴재하시험 결과 ····· 62

8. 자연암반형 패널의 현장 적용성 평가 ····· 64
가. 평가 개요 ····· 64
나. 지반조사 ····· 65
다. 예비해석 ····· 74
라. 시험시공 ····· 78
마. 대형 재하시험 ····· 87

9. 수치해석적 검증 ····· 108
가. 수치해석 개요 ····· 108
나. 해석조건 및 방법 ····· 109
다. 수치해석 결과 ····· 111

10. 개발공법의 경제성 분석 ····· 127
가. 경제성 분석 개요 ····· 127
나. 경제성분석 결과 ····· 128

11. 연구개발 성과 요약 ····· 130

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 132

제 5 장 연구개발성과의 활용계획 ····· 133

1. 국내외 시장 전망 ····· 133
가. 국내 시장 현황 및 전망 ····· 133
나. 국외 시장 현황 및 전망 ····· 134

2. 사업화 추진 ····· 135
가. 사업화 추진 전략 ····· 135
나. SWOT분석 ····· 136

3. 기업 내 활용방안 ····· 137

4. 마케팅 전략 수립 ····· 138
가. 시장환경 분석 ····· 138
나. 국내 수요처 조사 ····· 140
다. 마케팅 믹스 (Marketing Mix) ····· 142
라. 마케팅 활동 ····· 145
마. 종합 마케팅 전략 ····· 145

5. 해외시장 진출 전략 ····· 146
가. 베트남 건설시장 동향 ····· 146
나. 건설공사 발주 유형 ····· 148
다. 베트남 도로개발 계획 ····· 149
라. 베트남 철도개발 계획 ····· 150
마. 베트남 건설시장 진출 전략 ····· 151

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 154

1. 해외 기술 및 산업 동향 ····· 154

2. 해외 특허 동향 ····· 154
가. 출원인별 특허 동향 ····· 156
나. 연도별 특허 동향 ····· 157

제 7 장 연구개발성과의 보안등급 ····· 158

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 ····· 159

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 160

1. 안전 조치 계획 ····· 160

2. 안전 조치 이행 ····· 160
가. 실험실 안전점검 ····· 160
나. 현장시험 안전전검 ····· 161

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 162

1. 논문 게재 성과 ····· 162

2. 학술대회 발표 성과 ····· 162

3. 특허 성과 ····· 162

4. 사업화 실적 ····· 163

제 11 장 기타 사항 ····· 164

1. 플라이애시 콘크리트 패널 개발 ····· 164
가. 개발 배경 ····· 164
나. 개발 계획 ····· 165
다. 플라이애쉬 콘크리트 패널 기대 효과 ····· 166

제 12 장 참고 문헌 ····· 168

1. 학술자료 및 보고서 ····· 168

2. 도서 ····· 170

3. 공개 특허공보 ····· 170

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

- 옹벽은 토공 시 지형 등의 조건에 따라 흙 구조물의 안정성을 유지할 수 없는 장소에 지반의 붕괴를 막기 위해 설치되는 토류 구조물이다.

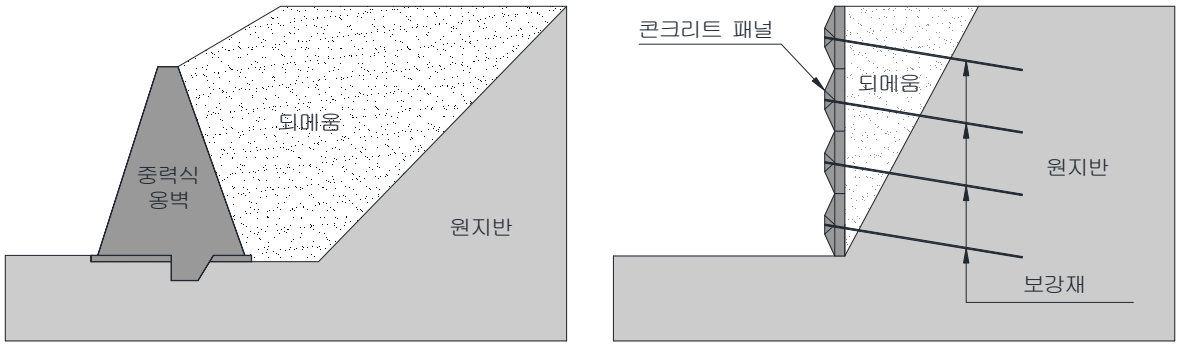
- 기존의 일반적인 옹벽은 콘크리트의 자중으로 옹벽의 안정성을 확보하는 형식으로 옹벽이 거대해지고 콘크리트 사용량도 많아지게 되며 옹벽 설치를 위한 터파기 및 되메우기 양이 과다하여 심각한 환경훼손 문제를 야기하였다. 또한 주변 환경과 조화를 이루지 못해 경관성을 저해시키는 요인으로 지적되어 왔다(그림 1.1 (1)).

- 최근 이러한 옹벽의 문제점을 개선하기 위하여 패널식 옹벽의 적용이 확대되고 있는 추세이다 (그림 1.1 (2)).

- 패널식 옹벽은 원지반 강도를 최대한 보호하며 보강시키는 공법으로 일반 중력식 옹벽과는 달리 Ground Anchor, Earth Bolt, Soil Nailing 등의 지보재 보강을 통해 원지반의 전단강도를 증가시키고 전면판인 프리캐스트 패널과 지보재를 체결하여 개별적 중력식 벽체를 형성시킴으로써 수평토압에 저항하는 공법이다.

- 프리캐스트 패널에 별도의 보강재를 병행 적용함으로써 기존 옹벽에서 발생하던 원지반 과다 절취 및 콘크리트 현장타설에 의한 공기지연 등의 문제는 다소 개선되었지만, 옹벽 전면 콘크리트 노출로 인한 경관성 저하문제와 더불어 여전히 미결과제로 남아있는 실정이다.

- 이러한 기존 기술의 원지반 과다 절취, 공기지연, 경관성 저하 등에 따른 문제점을 해결하고자 하는 것이 본 연구과제의 목적이다.



(1) 중력식 옹벽 개념도 (2) 패널식 옹벽 개념도

그림 1.1 옹벽 개념도

2. 연구개발 필요성

가. 연구개발 배경

• 산지가 70% 이상인 국내 지형조건상 건설공사를 위해서는 자연지반을 일부 깎아서 부지를 형성하는 것이 필수적이다. 특히 도로와 철도는 산악지형을 통과하는 경우가 많으므로, 지형 특성에 따라 급경사 지역에서의 대절토 비탈면의 형성으로 토공량 증가에 따른 공기 지연 및 공사비 증가, 환경훼손 등의 문제가 빈번히 발생하고 있다(그림 1.2).

(1) 도로 건설공사

(2) 터널 갱구부

그림 1.2 대절토 비탈면 발생사례

• 깎기 비탈면 형성에 따른 토공량 증가 및 환경훼손을 방지하기 위하여 최근 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 패널식 옹벽에 대한 관심이 높아지고 있으며 그 적용사례 또한 꾸준히 증가하고 있는 추세이다(그림 1.3).

(1) 도로 비탈면

(2) 터널 갱구부

그림 1.3 패널식 옹벽 적용사례

나. 기술개발 필요성

- 옹벽은 일찍부터 생활 속에 밀접하게 자리 잡고 있는 토목 구조물중 하나이며 급격한 산업화와 도시개발로 국토의 70% 이상이 산지인 우리나라에 없어서는 안 되는 구조물로 자리 잡았다.

- 경사지에서 수평적인 공간을 제공하기 위해 건설된 옹벽들은 주변 경관과의 조화는 무시된 채 무분별하게 난립되어 왔으며 구조적 안정성을 위해 철근과 콘크리트를 이용하여 건설되어 왔다.

- 국가 기반시설 및 단지 구축 등으로 발생되는 비탈면에 거대 콘크리트 구조물을 조성하여 주변 경관을 훼손하고 콘크리트 타설 등의 공사로 인하여 도심과 도로가 황폐화 되고 있는 실정이다(그림 1.4 (1)).

- 콘크리트로 덮인 도시는 수분을 포함하는 흙 보다 더 많은 태양열을 흡수·저장하고 태양에너지를 반사하는 반사체 역할을 하기 때문에 도심지 열섬현상을 가속화 시키고, 이는 도시 열대야로 이어져 시민들의 쾌적한 주거환경을 위협하는 요소로 지적되고 있다(그림 1.4 (2)).

- 또한, 옹벽 구조물 건설을 위한 대규모 터파기로 자연녹지의 훼손면적이 증가하고 대량의 되메움 및 사토의 발생은 공사비 증가의 원인이 되고 있다.

(1) 도로변 콘크리트 옹벽

(2) 주거지역 및 도심지 콘크리트 옹벽

그림 1.4 거대 콘크리트 옹벽 적용사례

다. 기존기술의 문제점

- 현재 국내에 적용중인 절토부 옹벽은 현장타설 방식에서 벗어나 프리캐스트 패널을 이용함으로써 콘크리트 현장타설에 의한 공기지연 및 콘크리트 품질저하 문제를 해결하고 별도의 보강재와 함께 적용함으로써 비탈면 안정성을 확보하는 방향으로 개선되어 왔다.

- 그러나 현재 적용되는 패널식 옹벽의 경우 패널을 수직으로 적층시키기 위해 원지반을 1:0.7의 경사로 절취한 후 패널과 원지반 사이를 되메우는 공종으로 인하여 토공량 및 이에 따른 환경훼손을 피할 수 없다.

- 또한 과도하게 노출된 콘크리트 구조물과 자연사면과의 이질감에 의한 경관성 저하, 운전자 및 보행자에 대한 위압감 조성 등은 여전한 단점으로 제기되고 있다(그림 1.5).

(1) 터파기 및 되메움

(2) 패널식 옹벽 A

(3) 패널식 옹벽 B

그림 1.5 패널식 옹벽 적용사례

- 유지관리에 있어서는 패널식 옹벽 적용 시 무리한 수직절취로 인한 안정성 문제가 대두되고 있으며, 적용 보강재의 한계로 인하여 보강구간에서 보강재 파단 등으로 인한 붕괴사례가 계속 보고되고 있다(그림 1.6).

(1) 울산 외고

(2) 서울 여의도

(3) 원주 일반산업단지

그림 1.6 패널식 옹벽 붕괴사례

- 이러한 문제점을 개선하기 위하여 착색형, 숏크리트형, 자연석 가공형 및 식생형 등의 다양한 옹벽들이 개발되어 시공되고 있지만 뚜렷한 개선효과는 기대하기 어려운 실정이다.

• 착색형의 경우 기존 콘크리트 구조물 전면에 주변 경관과 어울리는 그림 또는 색상을 입히는 방식으로 콘크리트 구조물이 주는 위압감을 경감시키는 데는 한계가 있으며 숏크리트형의 경우 자연석 질감은 표현이 가능하나 숏크리트 타설로 인한 환경오염이 심각하다는 단점을 여전히 내포하고 있다.

(1) 착색형 옹벽

(2) 숏크리트형 옹벽

그림 1.7 개량된 옹벽 시공사례 (1)

• 또한, 식생형의 경우 적용 가능한 보강재의 한계로 안정성 측면에서 대규모 비탈면에 적용이 불가능하며 자연석 가공형의 경우 안정성과 자재수급 문제로 인하여 대규모 공사현장 적용에는 제약이 따른다는 단점을 가지고 있다.

(1) 식생형 옹벽

(2) 자연석(산석) 옹벽

그림 1.8 개량된 옹벽 시공사례 (2)

• 따라서, 주변 환경과 조화를 이루고 토공량을 최소화 할 수 있으며 유지관리가 용이한 친환경적인 옹벽의 개발이 절실하며, 특히 대규모 비탈면 적용시 안정성 확보를 위하여 어스앵커 등의 적극적 보강공법과 접목이 가능하며 자재수급이 용이한 패널식 옹벽의 개발이 시급한 실정이다.

3. 연구개발 범위

• 본 연구과제에서 개발하고자 하는 공법은 최근 그 적용성이 확대되고 있는 패널식 옹벽의 개량형으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

가. 미관을 고려한 자연암반형 표면처리 기술

• 기존 옹벽의 가장 큰 문제로 지적되어 왔던 전면 콘크리트 노출에 의한 위압감 조성 및 경관성 저하 문제를 자연암반형 패널을 적용함으로써 개선하였다(그림 1.9).

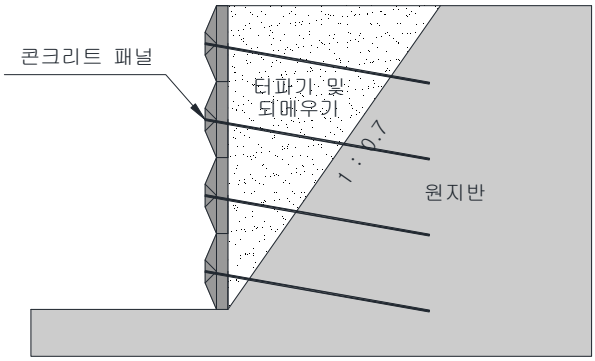
(1) 기존 콘크리트 패널

(2) 자연암반형 옹벽

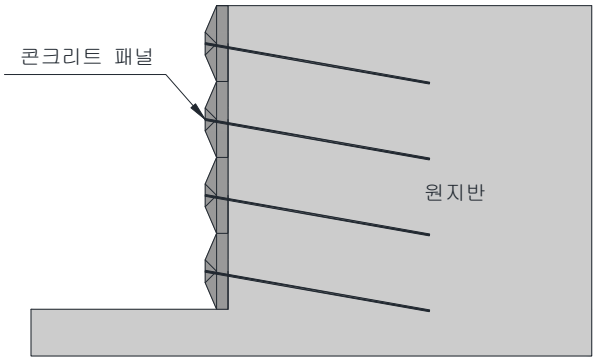
그림 1.9 패널식 옹벽의 표면처리 개선

나. 원지반 부착식 패널 설치 기술

• 기존 패널식 옹벽의 경우 패널을 수직으로 적층시키기 전 원지반을 1:0.7 경사로 선 굴착 한 후 패널과 원지반 사이를 되메우는 방법을 적용하였지만, 개발기술은 패널을 경량화하고 원지반에 직접 부착시키도록 고안하여 터파기 및 되메우기 공종을 생략 할 수 있도록 하였다.



(1) 기존 패널식 옹벽



(2) 원지반 부착식 옹벽

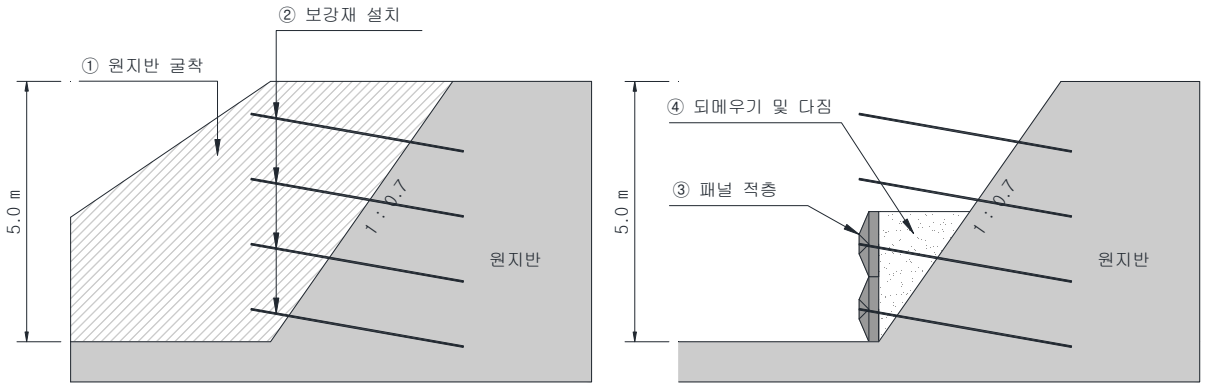
그림 1.10 패널식 옹벽의 설치방법 개선

다. Top-Down 방식의 시공방법 구현

- 기존 패널식 옹벽의 경우 Top-Down 방식으로 시공되는 것으로 알려져 있으나 적층식 패널 구조의 한계로 인하여 5.0m 이상을 한 번에 굴착한 후 대형 크레인 등의 중장비를 이용하여 패널 및 보강재를 설치하는 Bottom-Up에 가까운 방식이었다.

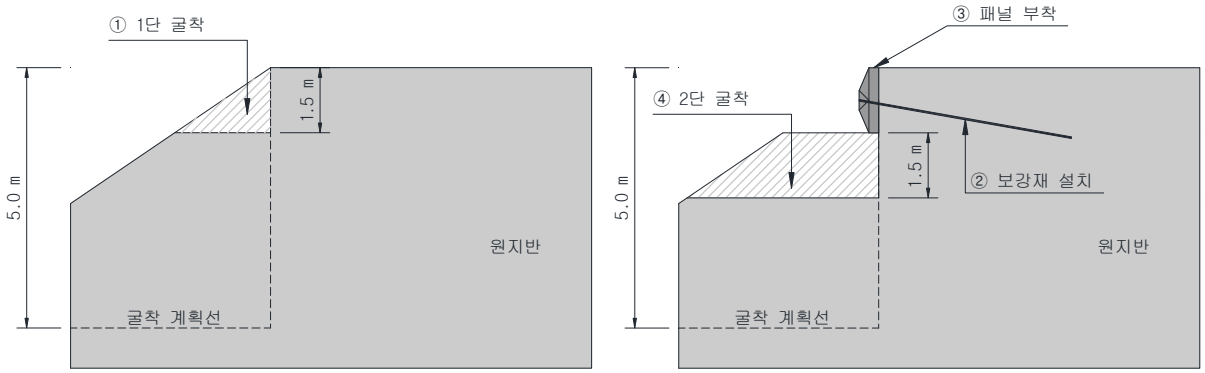
- 개발 기술은 기존방식 뿐만 아니라 원지반 부착식 패널을 적용함으로써 현장조건에 따라 패널 1단의 높이(1.5m 이상) 만큼 만 절취 한 후 소형장비를 이용하여 보강재와 패널의 설치가 가능하도록 하였다.

- 지표면에서부터 1단씩 패널 및 보강재를 설치하여 굴착을 진행하는 Top-Down 방식의 시공법을 완벽히 구현함으로써 중장비 투입에 따른 공사비 절감효과가 있고 공사 중에는 비탈면의 안정성이 크게 향상된다.



(1) 원지반 절취 및 보강재 설치 (2) 패널 적층 및 되메우기

그림 1.11 기존 적층식 패널 시공순서



(1) 1단 절취 (1.5m) (2) 보강재 설치 후 하단 굴착

그림 1.12 원지반 부착식 패널의 시공순서

4. 연구개발 목표

- 기존의 전면 콘크리트 노출에 의한 위압감 및 경관성 저하 문제를 해결할 수 있는 자연암반형 질감을 갖는 표면처리 기술 개발

- 옹벽 적용 비탈면을 일정 경사로 굴착한 후 수직으로 설치된 패널과 원지반 사이에 되메움을 수행해야 하는 기존 공법과 달리 수직으로 굴착된 원지반에 직접 설치 가능한 패널식 옹벽 공법 개발

- 5.0m 이상을 한 번에 굴착한 후 대형 크레인 등의 중장비를 이용하여 패널 및 보강재를 설치하는 Bottom-Up에 가까운 기존방식이 아닌 완벽한 Top-Down 방식으로 소형장비를 이용한 보강재와 패널 설치가 가능한 패널식 옹벽의 개발

5. 연구개발 흐름도

1차년도 2014. 06 ~2015. 05	기술동향조사	· 선행기술조사 · 국내시장 및 수요처 조사 · 해외시장조사
	자연암반형 판넬을 이용한 원지반 부착식 옹벽 개발	· 시작품 제작 · 실내실험을 통한 성능평가 · 시험시공을 통한 현장 적용성 평가 · 수치해석적 검증 · 실내 및 현장시험 결과를 토대로 개선사항 도출
	개발공법 홍보	· 개발공법에 대한 특허 출원 · 국내외 전시회 참가 · 학술발표회 논문 발표 · 학술지 논문 게재
2차년도 2015. 06 ~2016. 05	개발공법 개선 및 보완	· 1차년도 성과를 토대로 개발공법 개선 · 시제품 제작
	개발공법 적용성 평가	· 실내실험을 통한 성능평가 · 시험시공을 통한 현장 적용성 평가 · 대형재하시험을 통한 원지반 부착식 옹벽 System의 거동특성 분석
	개발공법 홍보	· 국내외 전시회 참가 · 학술지 논문 게재
	개발공법 상용화	· 설계기법 및 시방기준 정립 · 개발공법의 설계 반영 · 개발공법의 시공 · 건설신기술 지정 신청

그림 1.13 연구개발 흐름도

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 개요

• 연구 수행에 앞서 현재 국내·외 패널식 옹벽의 기술개발수준 및 경쟁사의 특허 동향을 파악하고 개발기술의 차별화와 활용전략을 수립하기 위하여 기술개발 현황 조사를 수행하였다.

• 본 연구에서는 기술개발 현황 조사 결과를 토대로 보유중인 지식재산권의 활용 전략을 수립하고 추가적인 지식재산권을 확보하여 개발 기술의 완성도를 높일 수 있도록 하였다.

• 기술개발 현황 조사는 선행연구조사, 관련기술 특허조사, 기존기술과의 차별성 분석의 순으로 수행되었다.

2. 선행연구 조사

가. 국가연구개발사업 유사연구

• 본 과제와 관련하여 기 수행된 국가연구개발사업 유사연구에 대한 검토결과, 총 2건이 검색되었으며 검색결과는 다음과 같다.

표 2.1 국가연구개발사업 유사연구 (단위 : 억원)

과제명	부처명	연구기간	연구내용	예산	비고
Geogrid와 Nailing을 이용한 절토부 보강토 옹벽의 개발	중소 기업청	2010.06.01 ~ 2012.05.31	• 절토부 보강토 옹벽의 개발 • 되메움 지반에 대한 토압 산정과 토압이론에 대한 실험적 연구를 통해 토압 산정방법을 제시하고 전면블록과 배면 절토부 사이의 되메움토에 의한 토압 산정 • 절토사면의 경우 네일의 거동특성을 분석하여 사면의 안전율을 높일 수 있는 방법을 구체적으로 제시함으로써 절토부 보강토 옹벽에 대한 설계 기준 제시	3.26	
보강토옹벽의 문양Panel 생산기술개발	중소 기업청	2005.07.01 ~ 2006.04.01	• 보강토옹벽의 패널에 삽입되는 문양 콘크리트 패널 개발 • 보강토옹벽의 패널에 적합한 3개의 문양 개발을 통하여 기존 보강토 옹벽에 적용함으로써 주변 환경과 조화되도록 디자인 • 기존에 사용되고 있는 거푸집을 최대한 활용하여 문양이 탈부착 되도록 기존 강제거푸집을 개선 • 문양콘크리트의 깨짐 등에 대한 제품 불량률을 최소화 할 수 있는 거푸집 및 문양시스템 개발	0.16	

나. 개발기술의 차별화

- ‘Geogrid와 Nailing을 이용한 절토부 보강토 옹벽의 개발에’ 대한 과제는 보강재를 이용한 절토부 옹벽이지만 전면판이 패널이 아닌 보강토 블록이며 비탈면 굴착 후 블록을 원지반에 직접 부착할 수 없어 개별 단위의 Top-Down 시공이 불가하다.

- ‘보강토 옹벽의 문양Panel 생산기술개발’에 대한 과제는 보강토 옹벽의 표면처리 기술에 대한 과제로 시공기술 및 시공방법에 대한 과제가 아니며 표면 문양에 있어서도 단순문양만을 적용하였다.

- 유사기술 검토 결과 본 연구과제에서 개발하고자 하는 수직굴착과 패널의 원지반 부착을 통한 완벽한 Top-Down 시공방법 및 자연암반형 질감을 표현하는 패널이 기존기술과 비교하였을 때 차별성을 갖는 것으로 판단된다.

표 2.2 유사기술 대비 개발기술의 차별화

구 분	유사기술 1 (Geogrid와 Nailing을 이용한 절토부 보강토 옹벽의 개발)	유사기술 2 (보강토 옹벽의 문양Panel 생산기술개발)	개발기술 (자연암반형 패널을 이용한 원지반 부착식 옹벽 개발)
옹벽 전면판	보강토 블록	보강토 블록	콘크리트 패널
전면판 디자인	없음	단순 문양	자연암반형 질감
굴착경사	경사굴착	경사굴착	수직굴착
부착방법	적층식	적층식	원지반 부착식
되메움	있음	있음	없음
시공방법	개별 단위 Top-Down 불가	개별 단위 Top-Down 불가	개별 단위 Top-Down 가능

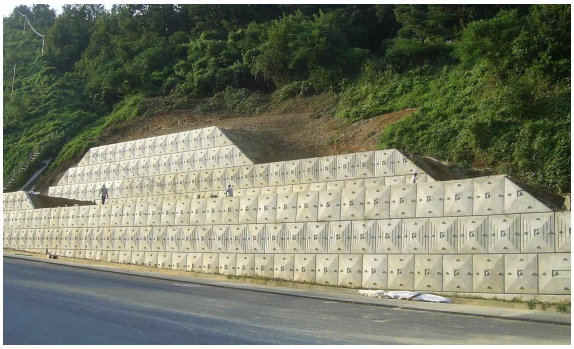
3. 국내외 관련 기술 특허 동향

가. 국내 기술 및 산업 동향

- 기존 패널식 옹벽의 개발은 보강토 및 깎기 비탈면의 전면부를 덮는 과정에서 수행되는 현장콘크리트 타설로 인한 공기지연과 경관성 저하, 콘크리트 타설 시 기상 조건 제약에 의한 콘크리트체의 품질저하 등의 단점들을 극복하기 위한 방향으로 진행되었다.

- 이러한 문제점을 극복하기 위한 연구개발 결과 현재 국내 기술은 비탈면 절취 전에 콘크리트 옹벽 패널을 사전 제작함으로써 공사기간의 단축, 옹벽 구조물의 품질향상 등의 장점을 확보하였다.

(1) 현장타설 콘크리트



(2) 패널식 옹벽

그림 2.1 옹벽 구조물 동향

- 하지만 과다하게 노출된 콘크리트 구조물과 자연사면과의 이질감에 의한 경관 저하와 위압감 조성 등은 여전한 단점으로 제기되고 있다.

- 최근 국내의 친화경 녹색성장 추세에 따라 위와 같은 단점들을 극복하기 위해 옹벽구조물 위에 식생을 덮어 미관을 향상시키거나 구조물 사이에 수목을 식재하여 생태를 복원하는 다양한 연구들이 진행되고 있다.

- 이러한 친환경 기술에 관한 수요는 신규 건설현장 뿐 아니라 기존 현장에서도 꾸준히 증가하고 있다.

- 위와 관련하여 국내의 사면보강 전문 업체 및 연구기관들은 다양한 방법으로 식재가 가능한 공법 개발 뿐 아니라 옹벽자체에서도 식생이 가능한 새로운 소재에 대해서도 연구·개발하고 있다.

나. 국외 기술 및 산업 동향

- 유럽 및 북미 선진국들의 경우 국내와는 지형적인 조건이 다르기 때문에 절토부 옹벽의 보강공법 및 적용 방향 등은 상이하나 외관 향상을 통해 친환경성을 도모하는 목적은 동일하다.

- 이를 위한 연구개발은 콘크리트 옹벽 구조 내에서 식생이 가능한 블럭식 옹벽을 적용하거나 자연석재, 문양 패널 등 옹벽 전면판 개발로 자연사면과의 이질감을 줄이는 방향으로 우리나라와 비슷하게 진행되고 있다.

- 반면 최근에 도로건설의 필요가 증가하는 개발도상국의 경우 사면보강공사, 도로옹벽공사에 필요한 기술들을 수입하고 있는 실정이다.

- 작년 우리나라의 기존 옹벽관련 기술 수출액은 약 423억이며 향후 친환경·녹색 기술에 대한 수요 역시 꾸준히 증가할 것이라 예상된다.

다. 특허 동향

- 기존 국내외의 특허 출원 및 등록은 콘크리트 옹벽 패널에 앵커, 네일링 등의 다양한 보강재를 추가하여 보강력을 증가시키는 방향 또는 친환경·녹색발전을 위해 식재가 가능하도록 시공하는 기법, 패널의 전면판을 식생으로 덮거나 자연석재 또는 기하하적 패턴을 적용해 콘크리트 구조물이 주는 위압감을 감소시키는 방향으로 진행되어 왔다.

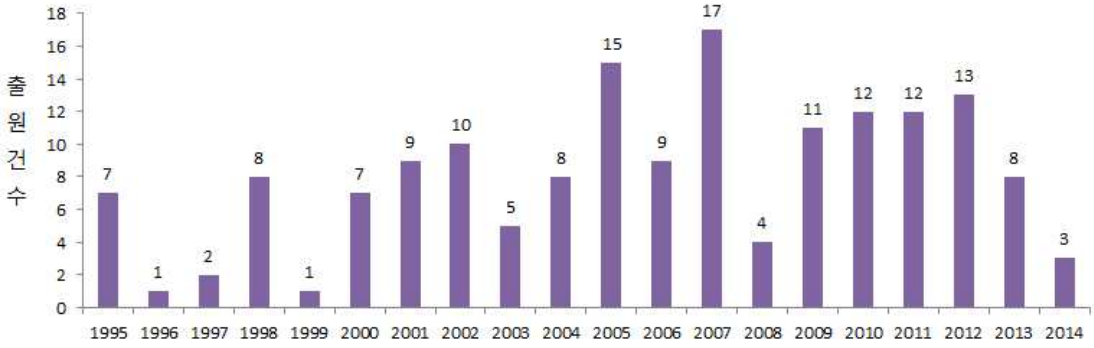
- 본 과제에서는 선행기술 분석을 통해 국가별 출원 동향과 기술수준을 파악하고 개발기술의 R&D 및 IP 전략 수립을 위하여 국내외 특허동향을 분석하였다.

- 분석 기준은 ‘자연암반형 옹벽’과 ‘원지반 부착식 옹벽’이며 검색에 사용된 세부 기술범위는 다음 표 2.3과 같다.

표 2.3 세부기술 범위

대분류	중분류	검색개요(기술범위)
자연암반형 원지반 부착식 옹벽 기술	자연암반형 옹벽 (AA)	• 절토부 옹벽에 사용되는 프리캐스트 패널 옹벽 • 자연석 및 자연암반 질감을 갖는 표면처리기술 이용 옹벽
	원지반 부착식 옹벽 (AB)	• 네일, 앵커 등의 보강재를 이용한 패널식 옹벽 • 원지반 부착을 위한 중력 및 수평토압 이용 옹벽

• 분석구간은 출원일 기준으로 1995년부터 2015년 2월 까지 최근 20년간이며, 국가 및 검색 범위는 대한민국, 일본, 미국, 중국의 특허 공개 와 등록 전체 문서를 대상으로 하였다(그림 2.2).

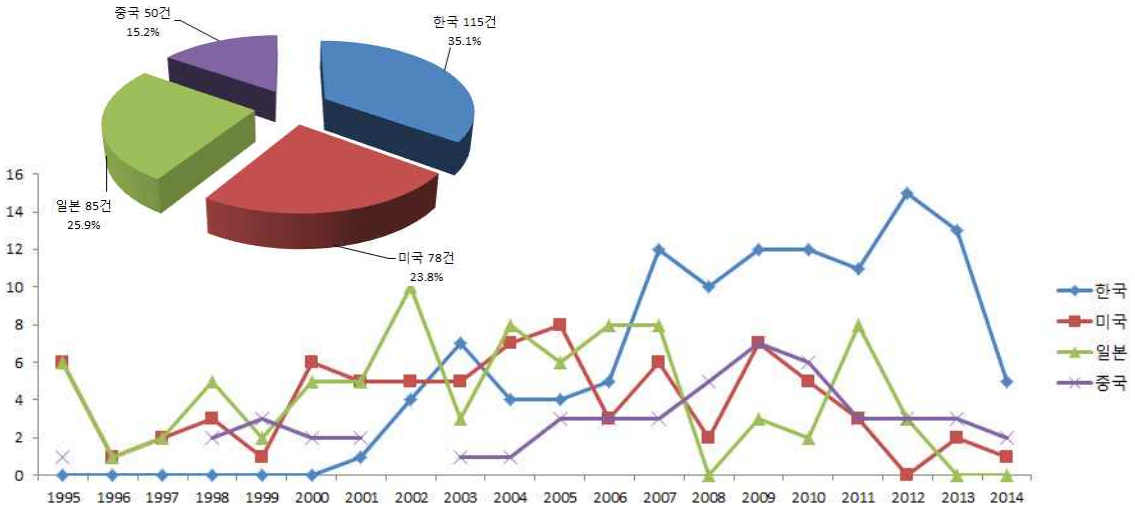


* 분석구간 : 한국, 미국, 일본, 중국 특허, 출원년도 : 1995.01~2015.02

그림 2.2 연도별 특허출원 동향

• 연도별, 국가별 특허출원 동향을 보면 한국은 2006년 이후 특허출원이 급격히 증가하였으며 미국은 지속적으로 출원이 되고 있다. 일본은 2003~2007년까지는 특허출원이 활발하게 나타났으나, 그 이후는 저조하며, 중국은 2007년 이후 활발하게 특허출원이 이루어지고 있는 실정이다(그림 2.3).

• 건설부분의 친환경, 원가절감 등의 정책과 친환경에 대한 사회적 요구에 따라 국내·외 모두 자연친화적 옹벽에 대한 특허출원은 계속적으로 증가할 것으로 판단된다.



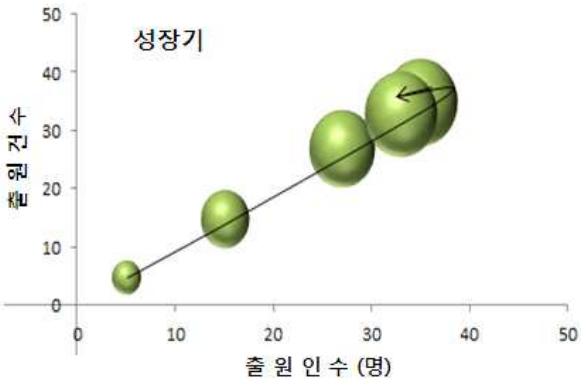
* 분석구간 : 한국, 미국, 일본, 중국 특허, 출원년도 : 1995.01~2015.02

그림 2.3 연도별, 국가별 특허출원 동향

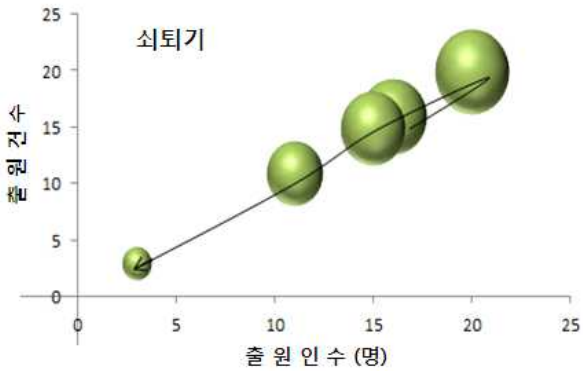
• 자연암반형 옹벽의 국가별 기술 위치를 포트폴리오로 나타내면 한국의 경우 출원인수와 출원건수가 계속 증가하는 성장기 단계로 많은 기술 개발이 이루어지고 있는 것으로 분석된다.

• 미국의 경우는 출원인수와 출원건수가 초기 증가하였다가 감소하는 쇠퇴기 단계를 보여주고 있으며, 일본의 경우는 특허출원인 및 특허출원수의 일정한 상태를 유지하는 성숙기 단계로 분석된다.

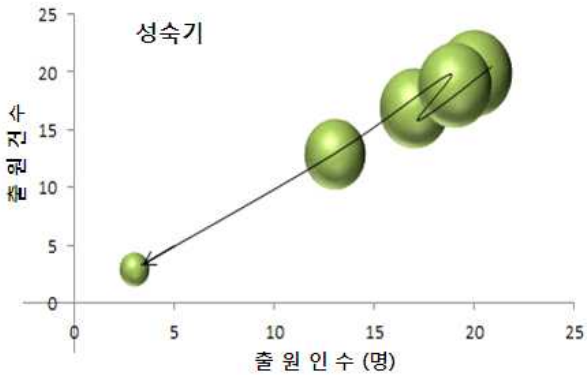
• 중국의 경우는 출원인 및 출원건수는 초기 태동기를 거쳐 성장단계를 보여주고 있어, 향후 꾸준한 성장이 진행될 것으로 분석된다(그림 2.4).



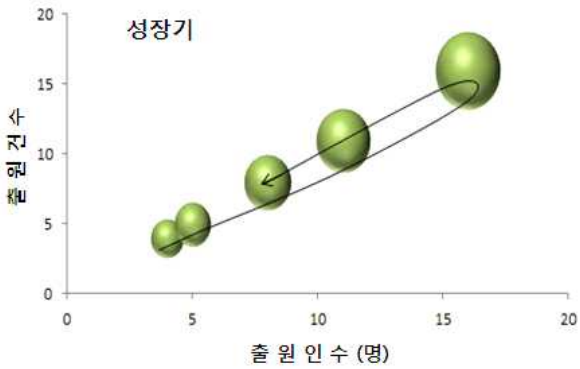
(1) 한국의 발전도



(2) 미국의 발전도



(3) 일본의 발전도



(4) 중국의 발전도

그림 2.4 포트폴리오로 본 국가별 기술 발전도

라. 핵심특허에 대한 심층분석

- 유효특허를 대상으로 중요특허를 선정하고 중요특허 중에서 현재 개발 중 인 기술과 가장 유사한 11건의 핵심특허를 도출하였다.

- 도출된 핵심특허를 분석한 결과 표 2.4에서 요약한 바와 같이 권리 유지 중인 핵심특허 중에서 장벽성이 있는 특허는 발견되지 않았다.

표 2.4 핵심특허 분석결과 (계속)

출원번호	출원일	출원인	명칭	공개번호(A)/등록번호(B)	분석결과
10-2013-0039898	2013.09.27	이종수 (대한민국)	전면의 녹화가 가능한 콘크리트 패널 옹벽 및 그 시공방법	10-13148550000	• 보강재를 통해 옹벽을 구축하는 점과, 전면에 녹화가 가능한 친환경적인 옹벽형성에서는 유사한 점이 있음 • 원지반 부착이 아닌 패널 구축 후 뒤채움을 해야 되며 옹벽 구축이 Bottom-up으로 시공하는 점에서는 차이가 있음
10-2003-0012049	2003.02.26	(주)코리아에스이 (대한민국)	영구앵커와 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 옹벽 구조 및 옹벽의 시공방법	10-05251560000	• 보강재를 원지반에 고정하여 패널에 가해지는 토압력을 저항하는 공법원리 부분에서는 유사한 점이 있음 • 옹벽을 계단식으로 구축하고 뒤채움을 해야 되며 옹벽 구축이 Bottom-up 으로 시공하는 점에서는 차이가 있음
10-2013-019846	2013.02.25	상라건설(주) (대한민국)	경사면 보강기구 및 보강공법	10-13497300000	• 패널을 원지반에 직접 부착하여 사면붕괴를 차단하는 점에서는 유사한 점이 있음 • 암반 및 수직면의 절토부 등 적용 대상 지반이 제한적이며 전면에 식생이 불가한 점에서는 차이가 있음
10-2009-0079094	2009.10.13	(주)비엠테크 (대한민국)	친환경 옹벽 시스템 및 친환경 옹벽 시공방법	10-09668010000	• 보강재를 통해 옹벽을 구축하는 점과 전면에 녹화가 가능한 친환경적인 옹벽형성에서는 유사한 점이 있음 • 원지반 부착이 아닌 패널 구축 후 뒤채움을 해야 되며, 옹벽 구축이 Bottom-up으로 시공하는 점에서는 차이가 있음
10-2005-0059708	2005.07.04	(주)성원안전 (대한민국)	사면보호와 녹화를 위한 계단식 보강 장치	10-06646760000	• 원지반에 직접 부착하여 시공하는 점과 옹벽 전면벽체에 식생이 가능하여 유사한 점이 있음 • 녹화블록을 옹벽에 설치하여 식생하는 점과 상하 패널이 일체화 하지 않고 계단식으로 시공을 한다는 점에서 차이가 있음

표 2.4 핵심특허 분석결과

출원 번호	출원일	출원인	명칭	공개번호(A)/ 등록번호(B)	분석결과
10-2013-3001232	2013.01.04.	(주)에코벨리 (대한민국)	식생블럭, 이를 이용한 벽구조물 및 입면녹화방법	10-14466660000	• 옹벽을 통해 식생하는 점에서는 유사함 • 원지반 부착이 아닌 레미콘 타설 등의 뒤채움이 필요하며, 원지반 식생이 아닌 옹벽전면부에 식생공간을 확보하여 식생한다는 점에서 차이가 있음
10-2005-0098108	2005.10.18	김재선 홍범식 (대한민국)	네일보강 합벽식 옹벽 및 구축방법	10-06987580000	• 보강재를 통해 옹벽을 구축하는 점과 전면에 녹화가 가능한 친환경적인 옹벽형성에서는 유사한 점이 있음 • 원지반 부착이 아닌 패널 구축 후 뒤채움을 해야 되며 옹벽 구축이 Bottom-up으로 시공하는 점에서는 차이가 있음
10-2011-0142870	2011.12.26	강석조 (대한민국)	식생패널과 이를 이용한 사면의 식생옹벽 시공 및 보수방법 그리고 성토부의 식생옹벽 시공방법	10-12310400000	• 전면판에 식생이 가능한 공간을 확보 하여 친환경적인 옹벽을 형성 하는 점에서 유사함 • 보강재 사용이 불가하고 옹벽 자중에 의해 자립하는 기술로 대상 지반이 제한적이며, Bottom-up으로 시공하는 점에서 차이가 있음
23048502	2011.03.07	TAKENAKA DOBOKU CO LTD (일본)	CONSTRUCTION METHOD OF GREENING RETAINING WALL	23048502	• 식재 구멍을 가진 패널을 사용하여 옹벽을 구축하는 점에서는 유사한 점이 있음 • 시공방법이 현장 콘크리트 타설을 이용하여 옹벽을 구축하는 점과 원지반 부착이 아닌 뒤채움이 필요하다는 점에서 차이가 있음
24241717	2012.05.19	NISHI NIPPON SPC KK SANKO SHOJI CO. LTD (일본)	EMBANKMENT STRUCTURE AND CONSTRUCTION METHOD FOR THE SAME	24241717	• 패널과 영구앵커를 통해 옹벽의 긴장도와 안정성을 도모하는 것에서 유사한 점이 있음 • 패널과 원지반 사이에 성토를 해야 하는 점에서 차이가 있음
200810300062	2008.07.15	Xu Baoan (중국)	一种护坡苗木的栽种方法 (Method for planting slope protection seedling)	200810300062	• 옹벽의 식재를 통해 식생환경을 구축하는 면에서 유사한 점이 있음 • 수직의 절토면에 대한 적용, 패널의 원지반 부착 어려움, 옹벽 구축 후 뒤채움 등을 해야 하는 측면에서 차이가 있음

4. 기술의 독창성

가. 동종분야 유사기술과의 차별성

- 패널식 옹벽과 관련하여 유사기술 분석결과, 보강재와 PC패널을 이용하는 것은 유사하지만 원지반 굴착방식, 패널의 부착방식, 시공방법에서 개발공법과 차별성이 있는 것으로 파악되었다.

- 현재 상용화 된 동종분야 유사기술을 파악하였고 개발기술과의 차별성을 분석하여 정리한 결과는 다음과 같다.

표 2.5 동종분야 유사기술과의 차별성 (계속)

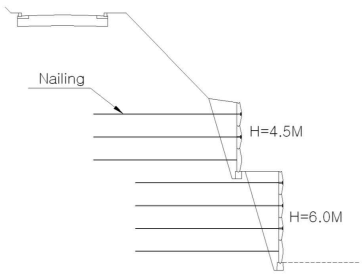
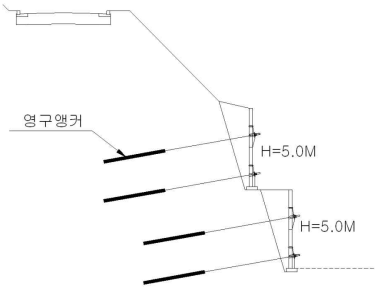
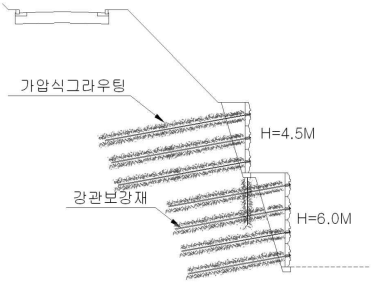
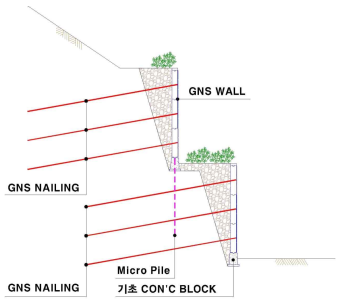
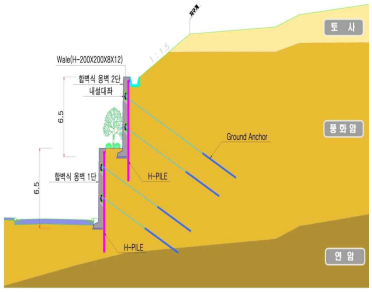
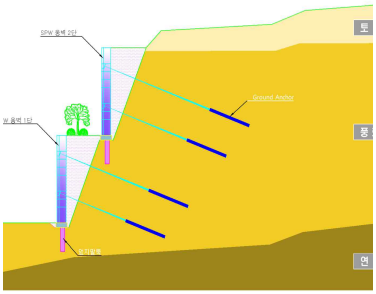
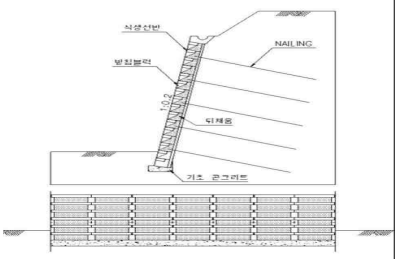
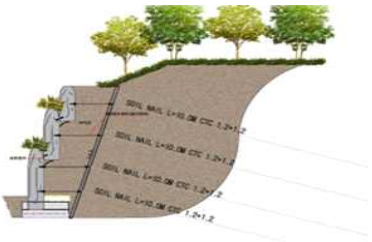
기술명	개요도	공법개요	개발기술과의 차별성
PEM 옹벽		• PC Panel과 철근보강재를 이용하여 원지반 자체의 강도를 증가시키고 PC 패널을 이용하여 지반에 압축력을 도입하여 수평토압에 저항하는 공법	• 개별 패널단위 Top-Down 불가 • 경사굴착으로 뒤채움 및 되메움 발생 • 적층식 패널 적용으로 패널을 원지반에 직접 부착할 수 없음
PAP 옹벽		• 원지반을 천공한 후 PE 코팅 강연선을 지반에 정착시킨 후 PC 패널에 Pre-stress를 가하여 전단 저항력을 증가시키는 공법	• 개별 패널단위 Top-Down 불가 • 경사굴착으로 뒤채움 및 되메움 발생 • 적층식 패널 적용으로 패널을 원지반에 직접 부착할 수 없음
PPP 옹벽		• 가압식 강관 그라우팅으로 원지반 및 전면 PC 패널 뒤채움부 공간의 강도를 증대시키는 공법	• 개별 패널단위 Top-Down 불가 • 경사굴착으로 뒤채움 및 되메움 발생 • 적층식 패널 적용으로 패널을 원지반에 직접 부착할 수 없음

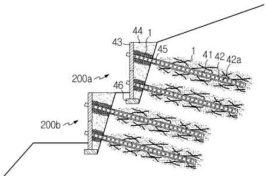
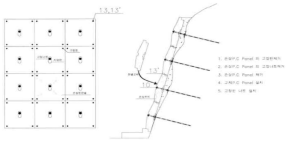
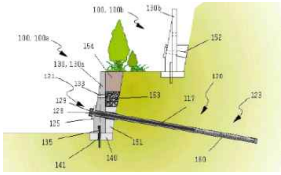
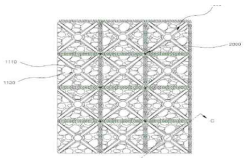
표 2.5 동종분야 유사기술과의 차별성

기술명	개요도	공법개요	개발기술과의 차별성
GNS Wall		• 가압식 쏘일네일링을 적용하여 수평토압에 저항 하도록 한 공법 • PC 패널에 문양 및 다양한 칼라의 색상을 적용한 공법	• 개별 패널단위 Top-Down 불가 • 경사굴착으로 뒤채움 및 되메움 발생 • 적층식 패널 적용으로 패널을 원지반에 직접 부착할 수 없음
앵커지지 합벽식 R.C 옹벽		• 가시설을 설치하고 영구앵커를 지중에 삽입하여 예상 활동면보다 깊은 원지반에 정착시켜 안정화 시키고 전면에 콘크리트 벽체를 형성시키는 공법	• 개별 패널단위 Top-Down 불가 • 프리캐스트 방식이 아닌 현장타설에 의한 벽체형성
SPW 옹벽		• 엄지말뚝과 패널로 벽체를 조성한 후 영구앵커를 설치하여 엄지말뚝과 앵커의 저항력으로 옹벽의 안정성을 확보하는 공법	• 개별 패널단위 Top-Down 불가 • 경사굴착으로 뒤채움 및 되메움 발생 • 적층식 패널 적용으로 패널을 원지반에 직접 부착할 수 없음
식생 선반 공법		• 급경사면의 전체적인 안정성은 앵커나 네일보강에 의해서 안전율을 확보 • 전면판의 선반으로 표면부의 안정성과 풍화 진행시의 안정성을 확보하는 공법	• 개별 패널단위 Top-Down 불가 • 프리캐스트 방식이 아닌 현장타설에 의한 벽체 형성 • 수직벽체 형성 불가
산벽 옹벽		• 중심돌과 뭣돌을 앵커로 연결하여 옹벽형태의 기능과 환경친화적인 자연미 역할을 동시에 수행	• 개별 패널단위 Top-Down 불가 • 프리캐스트 방식이 아닌 자연석 가공에 의한 벽체형

나. 동종분야 유사특허와의 차별성

- 특허분석결과 장벽성이 있는 특허는 발견되지 않았으며, 개발기술은 유사특허 대비 기술적 차별성이 큰 것으로 분석되었다.

표 2.6 유사특허와의 차별성

공법 명	선행기술 도면	신청기술과의 차별성
PPP 옹벽		• 패널 전면에 대한 별도의 처리가 없이 콘크리트 노출 • 적층식 패널 적용으로 패널을 원지반에 직접 부착할 수 없음 • 패널과 원지반 사이 뒤채움이 발생 • 개별 패널단위 Top-Down 불가
PEM 옹벽		• 패널 전면에 대한 별도의 처리가 없이 콘크리트 노출 • 적층식 패널 적용으로 패널을 원지반에 직접 부착할 수 없음 • 패널과 원지반 사이 뒤채움이 발생 • 개별 패널단위 Top-Down 불가
PAP 옹벽		• 사면에 설치되는 복수개의 옹벽블럭을 상기 사면에 고정시키기 위한 앵커 조립체를 갖는 옹벽 • 옹벽블럭들의 사이에 구비되는 녹생영역부를 포함하여 녹생식물이 자랄 수 있는 터전을 제공
GNS Wall		• 적층식 패널 적용으로 패널을 원지반에 직접 부착할 수 없음 • 패널과 원지반 사이 뒤채움이 발생 • 개별 패널단위 Top-Down 불가

다. 기존 기술과의 차별성 요약

표 2.7 기존기술과의 차별성 요약

구 분	개발기술			기존기술		
전면문양	• 자연암반형, 주변경관 고려			• 단순문양, 동일패턴 반복		
패널 제원	구분	네일용	앵커용	구분	네일용	앵커용
	크기(m)	1.5×1.5	-	크기(m)	1.5×1.5	2.0×2.5이상
	중량(kg)	670		중량(kg)	1,000 이상	4,000 이상
	두께(m)	0.15		두께(m)	0.2~0.3	0.4 이상
굴착경사	• 수직			• 1:0.3 ~ 1:0.7		
시공순서	• 공종 단순화로 시공성 개선			• 보강재와 패널 연결, 되메우기 및 다짐에 의한 시공지연		
현장 적용성	• 부지경계 제한 시 적용성 우수 • 수직절취에 따른 부지활용 극대화 및 환경훼손 최소화 • Top-Down 시공법을 적용하여 안정성 유리			• 부지경계 제한 시 터파기가 필요하므로 적용 제한 • 터파기 및 되메우기에 따른 공사기간 및 공사비 증가 • 옹벽 전면으로 지하수를 배출하여 경관성 저하		

제 3 장 연구 수행 내용 및 성과

1. 자연암반형 패널 설계

가. 개요

- 본 연구에서는 기존 절토부 옹벽의 가장 큰 문제로 지적되어 왔던 전면 콘크리트 노출에 의한 위압감과 경관성 저하 문제를 해결하기 위하여 패널 전면을 자연암반형으로 적용하였다.

- 자연암반형 패널은 콘크리트 패널에 자연암반 질감을 갖는 표면처리기술 도입으로 기존의 획일적인 문양을 탈피하여 주변 자연지반과의 조화 및 경관성 확보가 가능하도록 하였다. (그림 3.1).

- 자연암반 질감을 나타내기 위한 표면처리 기술은 하천, 호안블록, 사방댐 전면문양, 도심지 경관블록 등을 제작하기 위해 주로 적용되어 왔다(그림 3.2).

- 본 연구에서는 자연암반 질감을 나타내는 표면처리 기술을 개발하고 구조적 안정성 및 현장 적용성을 만족하는 자연암반형 패널을 규격화함으로써 시작품 생산이 가능하도록 하였다.

(1) 자연암반형 패널 전면문양 (2) 현장타설 자연암반형 옹벽

그림 3.1 자연암반형 패널과 옹벽

(1) 컬러문양거푸집 (2) 하천블록

그림 3.2 자연암반 질감 표현 기술

나. 자연암반형 패널 전면문양 제작

• 자연암반 질감을 갖는 전면문양을 확인하기 위하여 먼저 자연석과 FRP를 이용하여 시작품을 제작하고 장·단점을 파악하였다.

표 3.1 전면문양 제작

구 분	자연석 가공문양	FRP 가공문양
시작품		
특징	• 화강암을 이용하여 제작 • 반영구적으로 사용 가능 • 무게가 무거워 취급 불편 • 재료비가 고가	• 인공재료인 FRP를 이용하여 제작 • 자연암반을 그대로 표현 가능 • 열에 변형 가능성 있음 • 재료비가 상대적으로 저렴
문제점 및 보완사항	• 전면문양에 대한 사전 디자인 필요 • 자연석을 깎아서 제작하므로 수정 곤란 • 패널금형 제작 시 테두리 굴곡부분의 높이가 일정하지 않는 경우 금형제작 곤란하므로 정밀제작 필요 • 패널을 연속적으로 붙일 경우 연속성이 없어 다수의 금형 필요	• 자연석을 스캐닝하여 제작하므로 자연암반 질감 표현이 확실하나 표면이 너무 정밀하여 콘크리트로 패널 제품화시 미세한 부분의 깨짐으로 인한 하자 발생 가능성 높음 • 테두리 굴곡이 너무 심하여 패널 금형으로 제작 곤란
검토결과	• 자연석을 이용한 가공문양은 반영구적으로 사용이 가능하나 주변경관과의 조화, 연속적인 시공 등을 고려하여 사전 디자인이 필요하며 한번 표현된 문양은 수정이 곤란함 • FRP를 이용한 가공문양은 자연암반 질감 표현이 확실하나 표면 및 테두리 굴곡이 심하여 패널 금형 제작과 콘크리트 패널 제품 생산이 곤란함 • 따라서 반영구적으로 사용이 가능하며 자연암반 질감 표현이 가능한 새로운 방법 필요	

• 전면문양에 대한 시작품 제작결과, 자연석 가공문양과 FRP 가공문양은 콘크리트 패널 제품 생산을 위한 금형제작 시 문제점이 있는 것으로 파악되어 패널 금형제작이 가능한 방법이 필요한 것으로 검토되었다.

• 따라서, 전체적인 문양은 자연암반 질감 표현이 가능하고 패널 제품생산을 위한 금형 제작이 가능하도록 고강도 시멘트를 이용한 전면문양을 제작하였다. 또한, 패널의 연속성 확인 및 패턴화를 위하여 2개의 패널이 1 Set가 되도록 제작하였다.

• 고강도 시멘트를 이용한 시제품 제작과정은 그림 3.3과 같다.

(1) 패널 규격을 고려한 기본틀 작업

(2) 고강도 시멘트 기초타설 작업

(3) 전면문양 표현

(4) 전면문양 연결성 확인

(5) 금형제작을 위한 규격 확인

(6) 전면문양 금형 제작

(7) 콘크리트 제품생산

(8) 자연암반형 패널 전면문양 확인

그림 3.3 자연암반형 패널 전면문양 제작 과정

다. 자연암반형 패널 설계도면 작성

- 자연암반형 패널은 최소 철근두께와 전면문양두께를 고려하여 최대 15cm로 결정하였으며 제원은 보강재 시공간격을 고려하여 가로×세로×두께 = 1.5m×1.5m×0.15m, 자중은 패널의 경량화를 위하여 800kg 이하, 패널 강도는 내적 안정성 확보를 위하여 24MPa로 설정하였다.

- 패널의 제원에 대한 성과 측정은 실내시험을 통한 성능평가에서 기술하였으며 이 장에서는 자연암반형 패널의 개발방향과 이에 따른 제작도면을 수록하였다(그림 3.4).

표 3.2 패널의 개발 방향 및 성과

구 분	개발 방향	1차년도 성과
패널 형상	자연암반형	자연암반 질감 표현
패널 규격	보강재 시공간격을 고려한 규격	1.5m×1.5m
패널 강도	응력집중을 고려한 안정성 확보	콘크리트강도 24MPa
패널 중량	유사기술대비 패널 경량화	670kg

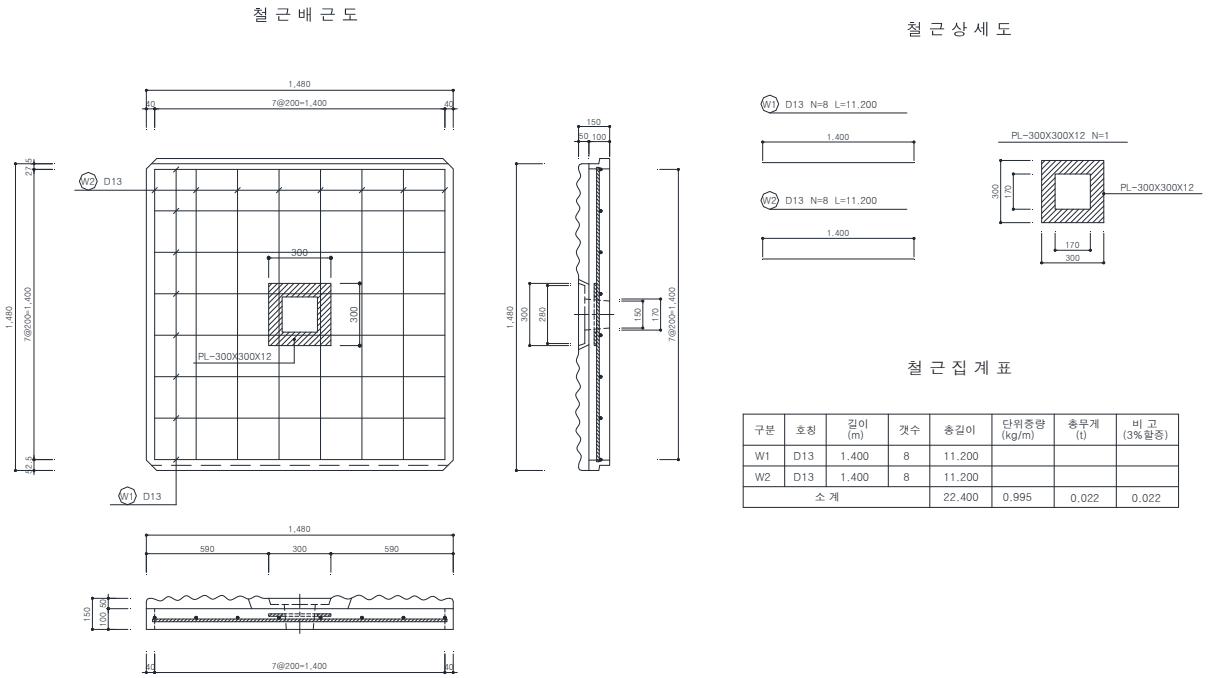


그림 3.4 패널 시작품 상세도

라. 시작품 생산

- 전면문양과 개발방향에 따라 1차년도에 설계된 자연암반형 패널을 공장 제작하기 위하여 금형을 제작한 후 시제품을 생산하였다.

- 금형제작 시 시공 중 패널의 연결성을 용이하게 하고 미끄러짐을 방지하기 위하여 상·하 외곽부에 키블록을 만들었다(그림 3.5 (1)).

- 시작품 생산 시에는 패널운반 및 거치 시 외부의 충격에도 균열 또는 파손이 발생되지 않도록 콘크리트 타설 후 증기양생을 하였으며 패널 운반을 용이하게 하기 위하여 인양 고리를 부착하였다(그림 3.5 (2)).

(1) 키블록 제작

(2) 인양 고리 추가

그림 3.5 제품생산 (키블록, 인양고리)

(1) 전면문양 금형제작

(2) 보강철근 설치

(3) 콘크리트 타설

(4) 자연암반형 패널 시작품

그림 3.6 패널 시작품 제작 과정

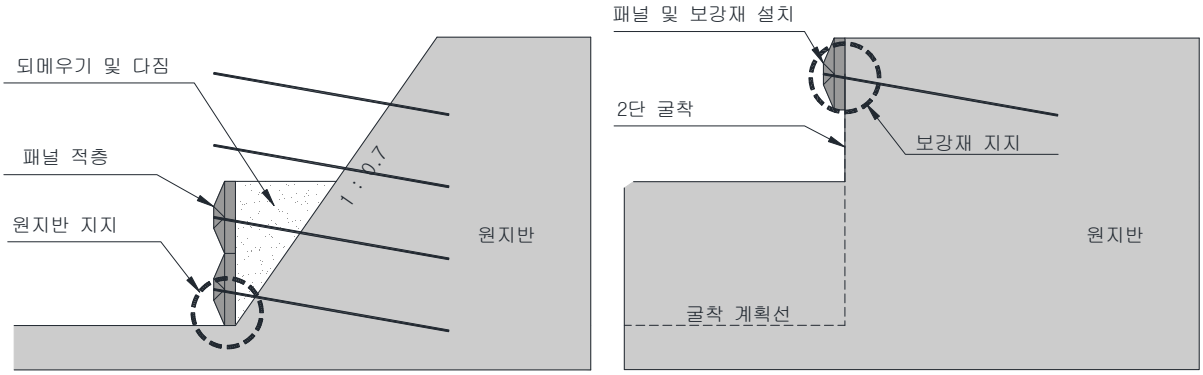
2. 보강재 선정

가. 보강재 선정 개요

- 패널식 옹벽은 중력식 옹벽대비 비탈면 절취를 최소화하고 원지반 강도를 최대한 보호하며 비탈면을 안정화시키는 공법으로 지보재 보강을 통해 원지반의 전단강도를 증가시키고 패널과 지보재를 체결하여 개별적 벽체를 형성시킴으로써 수평토압에 저항하는 공법이다.

- 패널식 옹벽의 거동특성에 대한 최근 연구결과에 의하면 전면벽체의 강성이 클수록 구속효과에 의한 보강효과가 양호하다고 보고되고 있다(김홍택 등, 2006).

- 그러나 본 연구에서 개발된 자연암반형 판넬을 이용한 원지반 부착식 옹벽은 완전한 Top-Down 시공을 목표로 하고 있으므로 적용 보강재의 경우 원지반의 전단강도 증가와는 별도로 시공 중 수직으로 절취된 비탈면에 부착된 자연암반형 패널의 임시적인 지지대 역할을 수행해야 한다(그림 3.7).



(1) Bottom-Up 시공 (2) Top-Down 시공

그림 3.7 시공 중 패널의 지지 방식

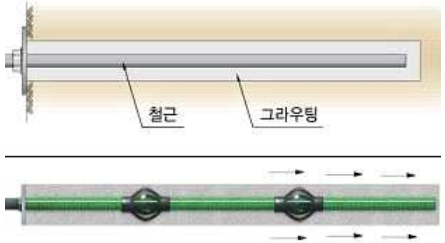
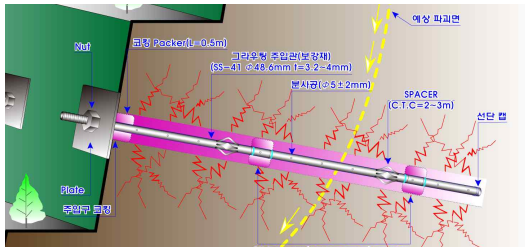
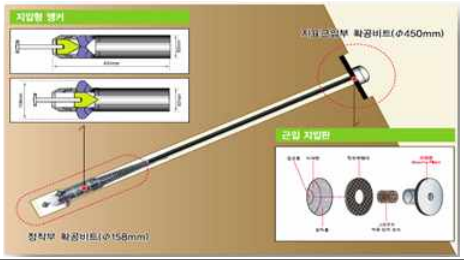
- 따라서, 본 연구에서는 원지반 보강효과 뿐만 아니라 수직으로 절취된 비탈면에 부착된 패널을 지지할 수 있는 보강재의 선정을 위하여 다양한 형태의 보강재에 대한 검토를 수행하였다.

- 검토 대상은 일반적인 패널식 옹벽에 가장 많이 적용되고 있는 중력식 쏘일네일링과 주관연구기관이 보유하고 있는 특허공법인 연속식 쏘일네일링, 확공지압형 앵커를 비교 대상으로 선정하였다.

- 선정된 각각의 보강재들의 비탈면 보강효과에 대한 우수성은 이미 검증되어 있는 상태이므로 본 연구에서는 성과지표로 제시된 자연암반형 판넬의 규격, 무게, 시공방법을 토대로 가장 적합한 보강재를 선정하였다.

나. 보강재 선정 결과

표 3.3 보강재 선정 결과

구 분	쏘일네일링	연속식 네일링	확공지압형앵커
개요도			
공법 개요	• 원지반 천공 후 이형철근을 지반에 삽입한 후 그라우팅을 실시하여 원지반의 전단강도를 향상시키는 공법	• 원지반 천공 후 구조용 강관을 설치하고, 가압그라우팅을 실시하여 그라우트재를 주입함으로써 원지반의 전단강도 증대시키는 공법	• 원지반 천공 및 정착부 확공 후 확공부에서 지압력을 발휘하는 앵커체를 삽입하고 Pre-Stress를 가하여 원지반의 전단강도 증대시키는 공법
보강재 재원	이형철근, SD300~400, D22~29	구조용 강관, Ø48.6~60.5mm	P.C강연선, 12.4mm~15.2mm, 3~6연선
보강 간격	1.2×1.2 ~ 1.5×1.5	1.5×1.5 ~ 2.0×2.0	2.0×2.0 ~ 3.0×3.0
설계 축력	77kN ~ 128kN	115kN ~ 146kN	300kN ~ 600kN
패널 적용성	• 이형철근은 전단 및 휨에 저항하는 부재로 패널의 지지효과 우수 • 일반적 보강간격이 패널 규격과 일치 • 설계축력은 패널의 경량화에 적합	• 구조용 강관은 전단 및 휨에 저항하는 부재로 패널의 지지효과 우수 • 보강간격이 다소 넓으므로 패널의 대형화 가능성 • 설계축력은 패널의 경량화에 적합	• P.C 강연선은 인장부재로 전단 및 휨에 저항하지 못하므로 패널 지지 불가 • 보강간격이 넓으므로 패널의 대형화 불가피 • Pre-Stress에 의해 설계축력 과다로 패널의 두께 증가 및 철근보강에 의한 패널 중량 증가
선정	◎		
검토 결과	• 연속식 쏘일네일링의 경우 보강재의 전단 및 휨 저항성이 우수하고 설계 축력이 보강재 경량화에 적합하나 보강간격을 고려했을 때 패널 대형화에 따른 패널 중량 증가가 우려됨 • 확공지압형앵커의 경우 보강재 특성상 전단 및 휨 저항이 불가능하며 설계축력 과다로 패널의 대형화 및 중량화가 불가피하므로 적용 보강재에서 제외 • 따라서, 자연암반형 패널의 경량화 및 Top-Down 시공 최적화를 위하여 중력식 쏘일네일링을 보강재로 선정 • 단, 연속식 쏘일네일링의 경우 붕적층 등 지층상태가 불량하여 가압그라우팅이 필요한 지반을 대상으로 적용가능성에 대한 추가적인 검토 필요		

3. 실내시험을 통한 성능평가 (1차)

가. 시험 개요

- 본 연구과제의 성과지표로 제시된 패널의 규격 및 강도에 대한 측정을 위하여 실내실험을 수행하였다.

- 규격시험은 패널의 크기와 무게에 대해 수행되었으며 강도는 실제 비탈면에 시공 시 토압과 보강재의 수동저항에 의해 패널이 받게 되는 휨 및 전단저항 상태를 가정하고 수행되었다.

- 패널의 실내시험은 경기도 수원시에 위치한 국가 공인 시험기관인 대우건설기술연구원에서 수행되었다.

나. 패널 규격시험

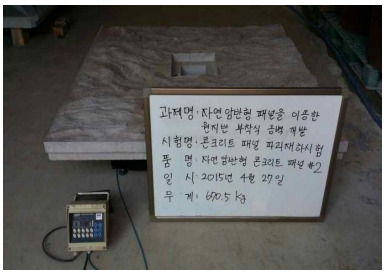
- 패널의 규격시험은 시작품 도면을 토대로 공장에서 제작된 패널에 대하여 감독관 입회하에 줄자 및 저울을 이용하여 측정되었다.

- 패널의 규격 측정결과 패널의 크기 및 무게 모두 목표치를 만족하는 것으로 평가되었다.

- 패널의 규격시험 전경 및 시험결과는 다음 그림 3.8 및 표 3.4와 같다.

(1) 패널 길이 측정

(2) 패널 두께 측정



(3) 패널 무게 측정

그림 3.8 패널의 규격 측정

표 3.4 패널 규격시험 결과

구분	패널 크기	패널 무게
목표치	• 1.5m×1.5m	• 800kg 이하
측정값	• 1.5m×1.5m×0.15m	• 670kg
결과	• 목표치 만족	• 목표치 만족

다. 파괴 재하시험

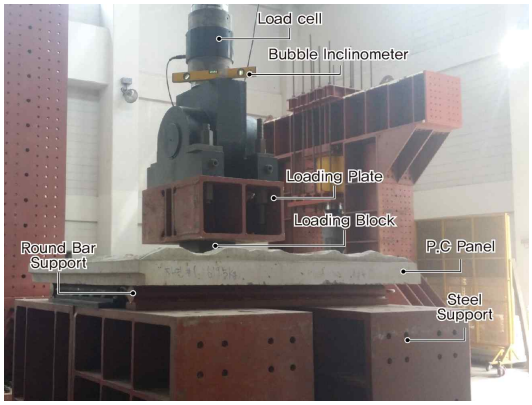
(1) 파괴 재하시험 개요

• 시작품에 대한 강도와 거동특성 분석을 위하여 파괴재하시험을 수행하였다.

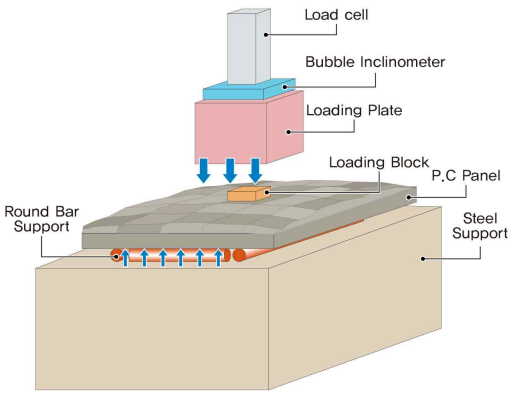
• 패널의 강도시험에 대해서는 별도의 규정이 마련되어 있지 않으므로 실제 토압과 쏘일 네일링의 수동저항에 의한 패널의 휨 및 펀칭파괴상황을 가정하여 수행되었으며 시험 방법은 다음과 같다.

- 시험의 지점 조건은 4면지지로 1,000mm×1,300mm 간격으로 환봉 위에 시험 패널을 설치
- 재하하중은 시험체 중앙부의 지압판 체결구에 250mm×250mm의 블록을 설치하여 정적 가력기로 재하
- 시험의 정밀성을 높이기 위하여 재하 속도는 1mm당 40~80sec속도의 변위제어방식으로 수행

• 파괴 재하시험은 시작품 및 기존 패널에 대해 각각 2회씩 총 4회가 수행되었으며 시험 Case 및 시험조건을 정리하면 다음 그림 3.9 및 표 3.5와 같다.



(1) 실내시험 전경



(2) 실내시험 개요도

그림 3.9 시험장치 개요도

표 3.5 실내시험 조건

구분		패널 규격 (mm)	시험 내용	비고
시작품	Case 1-1	1,500×1,500×150	파괴 시 까지 20.0kN씩 하중 증가	사보강 철근 없음
	Case 1-2			
기존 패널	Case 2-1	1,500×1,200×200		사보강 철근 포함
	Case 2-2			

(2) 파괴 재하시험 결과

- 실내시험 결과 사보강이 없는 시작품의 경우 각각 93.57kN, 96.69kN에서 파괴가 발생하였으며, 사보강이 포함된 기존 패널의 경우 각각 112.02kN, 111.15kN에서 파괴가 발생한 것으로 확인되었다.

- 기존 콘크리트 패널의 경우 파괴 시 두부 정착판 주변부와 사보강 철근을 따라 판넬 전반에 걸쳐 펀칭과 휨에 의한 균열이 발생하였으며 시작품의 경우에는 두부 정착판 주변부에 국한되어 펀칭에 의한 균열이 발생하였다.

- 이러한 결과는 기존기술의 패널 크기(1.5m×1.2m)와 사보강 철근배치에 의한 차이에 기인한 것으로 판단다.

- 일반적으로 비탈면 설계에 가장 많이 적용되는 쏘일네일링의 설계축력이 112kN~128kN 임을 감안할 때 현재 패널의 경우 보강재 항복 전 패널 펀칭 또는 휨에 의한 옹벽붕괴 가능성이 있을 것으로 판단된다.

- 또한 시작품의 경우 배근 자체가 쏘일네일링에서 전달되는 하중을 옹벽 전체로 전달시키지 못하고 국부적인 펀칭 파괴가 예상되므로 이에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

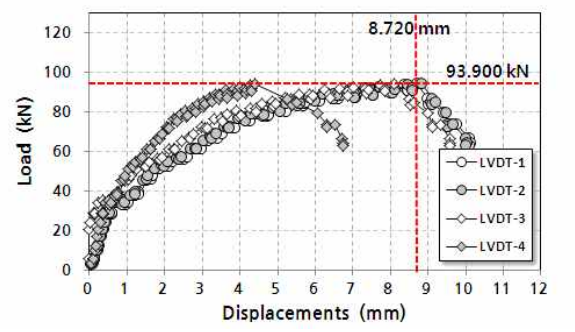
- 패널의 펀칭 및 휨 강도를 증가시키는 방법은 패널 두께를 증가시키는 방법 또는 사보강 및 전단철근을 추가하여 쏘일네일링으로부터 전달되는 하중을 효과적으로 분산시키는 방법이 있다.

- 판넬 두께 증가의 경우 판넬 중량의 증가를 의미하므로 판넬의 경량화에 의한 Top-Down 시공이 어려울 수 있으므로 사보강 또는 전단철근의 추가를 우선적으로 검토해야 할 것으로 판단되며 필요 시 최적의 패널 두께 산정에 대한 검토가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

- 실내시험 결과를 정리하면 표 3.6 및 그림 3.10과 같다.

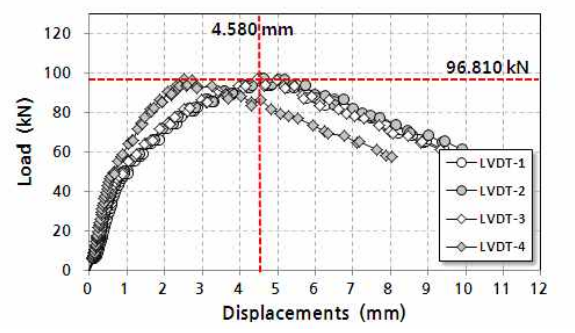
표 3.6 실내시험 결과

구분		파괴 하중 (kN)	변위량 (mm)
시작품	Case 1-1	93.57	8.37
	Case 1-2	96.69	4.64
기존 패널	Case 2-1	112.02	3.42
	Case 2-2	111.15	3.69



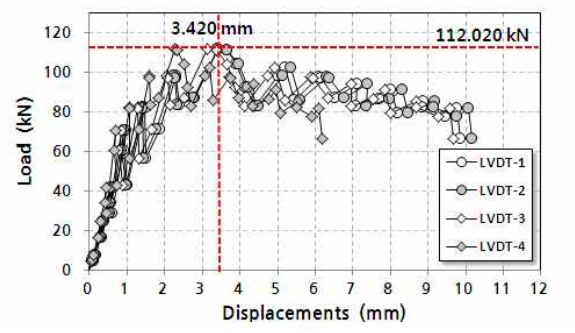
(1) Case 1-1 시험결과

(2) Case 1-1 파괴양상

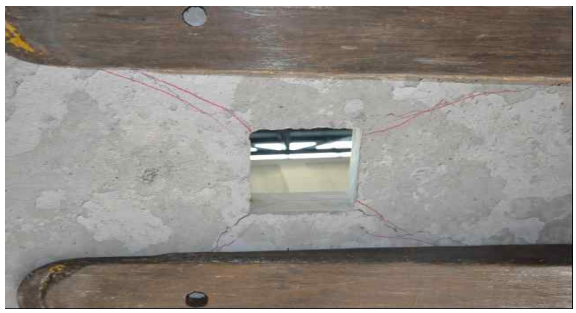


(3) Case 1-2 시험결과

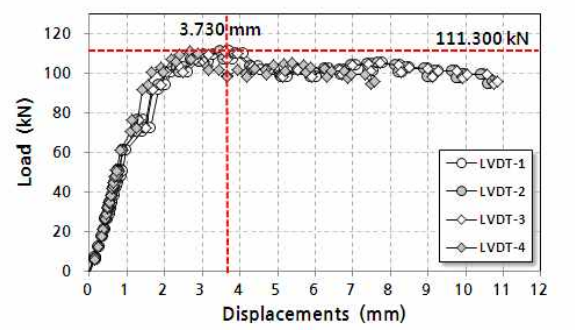
(4) Case 1-2 파괴양상



(5) Case 2-1 시험결과



(6) Case 2-1 파괴양상



(7) Case 2-2 시험결과

(8) Case 2-2 파괴양상

그림 3.10 파괴재하시험 결과

4. 시작품의 현장 적용성 평가

가. 평가 개요

- 시작품을 이용한 원지반 부착식 옹벽의 시공방법에 대한 현장 적용성을 평가하기 위하여 시험시공을 수행하였다.

- 적용성 평가에 앞서 대상 부지의 지반특성을 파악하기 위하여 지반조사를 수행하였으며 지반조사 결과를 토대로 예비해석을 수행하여 시험시공 비탈면의 안정성을 평가하였다.

- 시험시공은 실제 시공조건과 동일한 형태로 단계별 시공을 수행하였으며 시공단계별 거동특성을 파악하기 위하여 계측과 병행하여 수행하였다.

- 현장 시험시공은 충청북도 청주시 청원군 추학리에 있는 OO콘크리트 공장 배후비탈면에서 수행되었으며 투입장비 및 현장 전경은 다음 표 3.7 및 그림 3.11과 같다.

표 3.7 시험시공 투입장비

장비 항목	규격(모델)	활용 내용
크롤러드릴	PCR-200	• 네일공 설치를 위한 천공
공기압축기	900 CFM	• 천공을 위한 고압공기 공급
발전기	100 kW	• 그라우팅을 위한 소요전력 공급
백호우	0.6W	• 수직굴착
덤프	15ton	• 굴착에 의한 발생토 운반 및 처리
그라우팅믹서	390×2 (5kw)	• 그라우트체 혼합
그라우트팅펌프	40~125 l/min	• 그라우트체 이송
콘크리트펌프카	80 m^3/hr	• 그라우트체 이송을 위한 보조장비
유압식 인발기	1,000kN	• 네일 인발시험을 위한 시험기
쏘일네일링	철근	• 지반 보강재
기타	1식	• 기초그라우팅, 시멘트, 기타자재 등

(1) 상부 도로, 하부 공장부지 위치

(2) 비탈면 굴착 전 전경

그림 3.11 대상구간 현황

나. 지반조사

• 시험시공에 앞서 대상 부지의 지반특성을 파악하기 위하여 지반조사를 수행하였으며 조사항목 및 조사에 사용된 장비는 다음 표 3.8 및 3.9와 같다.

표 3.8 지반조사 항목

조 사 항 목			수 량	내 용
현장조사	시 추 조 사		1개소	• 지층 및 지하수위 분포, 암질상태 등 파악
	지하수위 측정		1회	• 48시간 경과 시 안정수위 측정
현장시험	표준관입시험		16회	• 지층의 상대밀도 및 연경도 파악
	공내전단시험		2회	• 풍화대층의 전단강도 산출
	공내재하시험		2회	• 지층별 변형특성 파악
실내시험 (토질)	토질 시험	함 수 비	1회	• 흙의 기본 물리적 특성 파악
		비 중	1회	
		액성한계	1회	
		소성한계	1회	
		입도분석	1회	

표 3.9 지반조사 장비

구 분		투 입 장 비	수 량
시 추 조 사	시 추 기	• OP-300 (SP4000, NX용)	1 대
	Engine 및 Pump	• Engine(15Hp), Pump(10Hp)	1 대
	Single Core Barrel	• NX 규격	1 조
	D-3 Core Barrel	• NX 규격	1 조
현 장 시 험	S.P.T Sampler	• Split Spoon Sampler (KS F 2307 규정)	1 조
	지하수위측정	• 자동측정기(L=50m), YAMAYO, Japan	1 조
	공내전단시험기	• Probe ,펌프, 센서, 연결케이블, 호스	1조
	공내재하시험기	• 전단부, 가압장치, 인발장치, 연결용 Rod, 압력전달호스	1조
토 질 시 험		• 흙의 기본물성시험 장비	1 식
기 타		• 기타 부대장비	1 식

(1) 지형 및 지질

(가) 지형

- 조사지역의 교통여건을 살펴보면 동쪽으로 36번 국도가 남~북 방향으로 지나가고, 북쪽으로 510번 지방도가 동~서 방향으로 지나가고 있다.

- 조사지역의 산계는 남동쪽의 성재산(255.0m)과 북서쪽의 매봉재(220.0m) 사이에 발달되어 있는 구릉성 지형이다.

- 조사지역의 수계는 지구 북쪽에 위치한 보강천이 남서류하여 미호천과 합류한다.

(나) 지질

- 본 지역의 지질은 선캠브리아기의 호상편마암을 중생대 쥐라기의 반상화강암이 관입하여 넓게 분포하고 중생대 백악기의 녹회색셰일, 자색셰일, 응회암이 부정합으로 위치하며 백악기의 암맥들이 이를 관입하고 있다.

- 최상부는 제4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다.

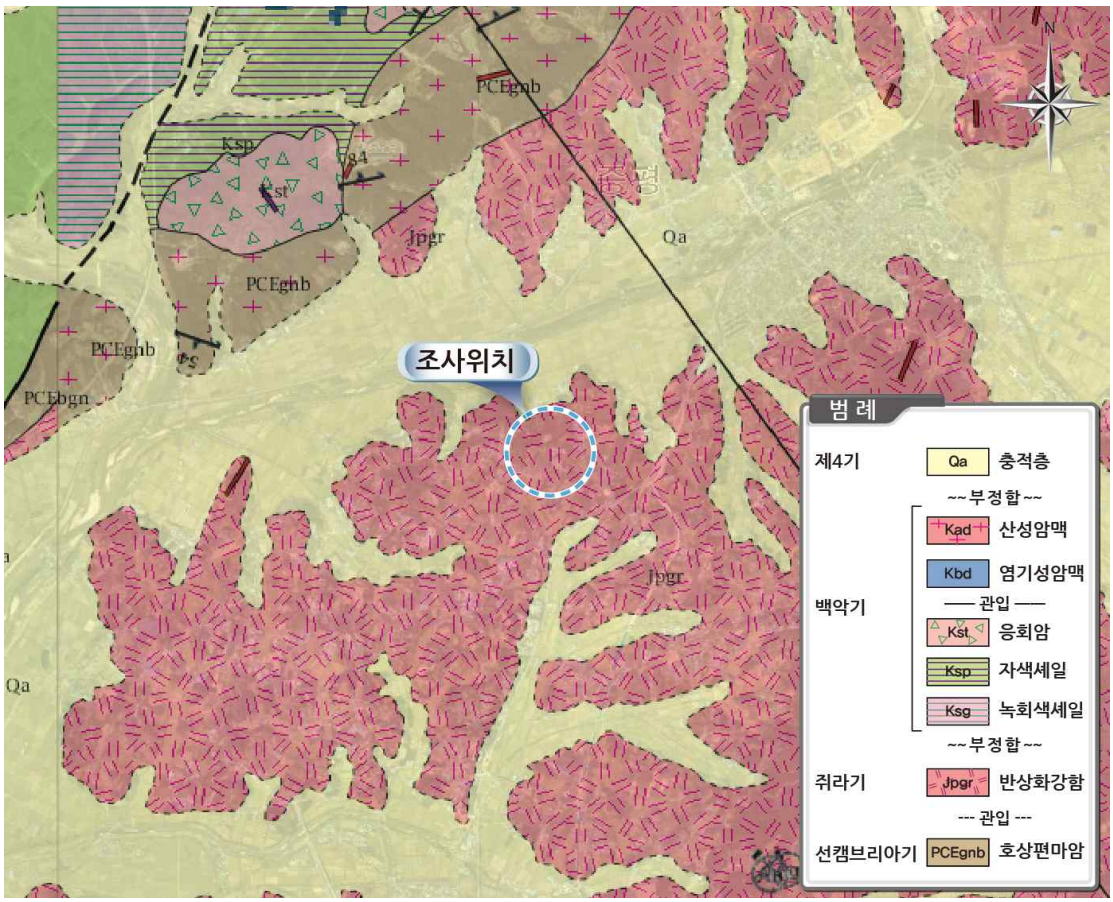


그림 3.12 조사구간 지질도

(2) 시추조사

(가) 시추조사 개요

- 시험시공 부지의 지층별 구성상태, 연약지반의 존재 유·무, 지하수위 분포 현황, 기반암의 종류 및 분포 심도, 균열상태, 파쇄대 등을 파악하기 위하여 시추조사를 수행하였다.

- 시추조사는 시험시공 비탈면 최상단에서 수행되었으며 비탈면 시추조사 기준에 의거하여 계획고 하부 2.0m이상 조사를 수행하였다.

- 시추조사와 병행하여 지층의 상대밀도(Relative Density) 및 연경도(Consistency)와 토층의 구성성분을 파악하기 위하여 1.0m 간격으로 표준관입시험(KS F 2307 기준)을 수행하였다

- 시추조사는 시험시공 비탈면과 직상부에서 수행하는 것이 원칙이나 그림 3.13에서 알 수 있듯이 시험시공 비탈면 직상부는 진입도로로 차량통행이 빈번하여 도로 옆 부지에서 수행하였으며 상세측량 결과 진입도로와의 표고차는 2.0m로 확인되었다.

- 시추조사 위치 및 단면 현황은 그림 3.13과 같다.

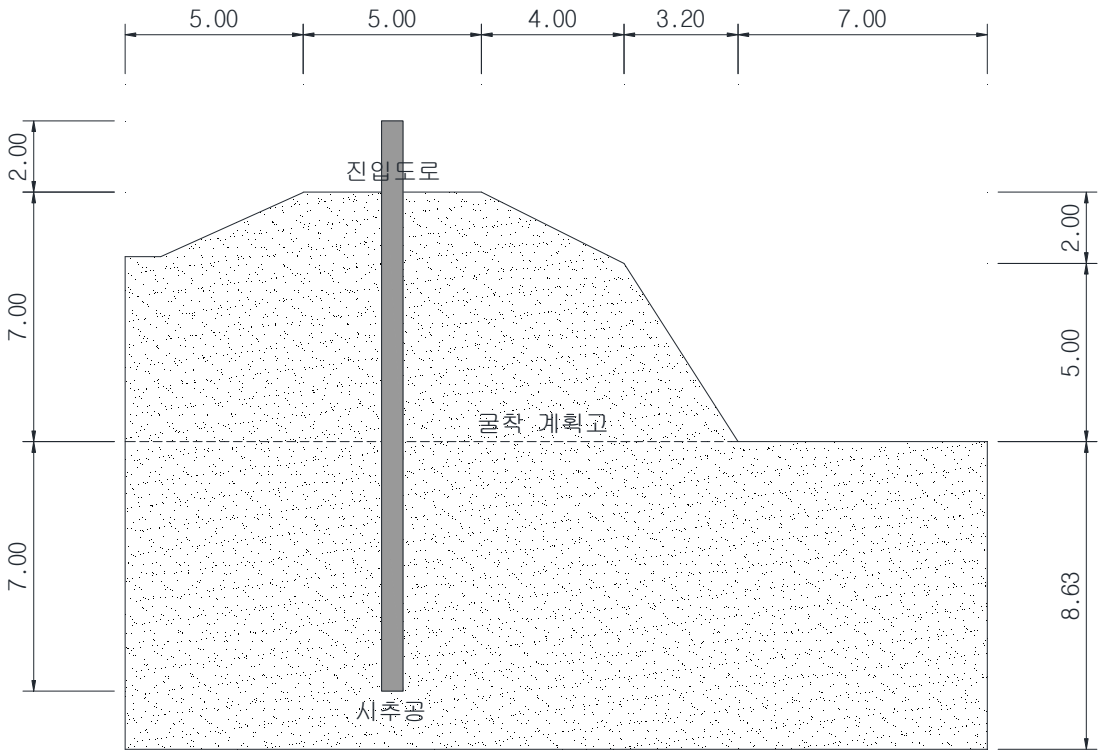


그림 3.13 시추조사 횡단면도

(나)시추조사 결과

• 시추조사 결과는 다음 표 3.10~표 3.11 및 그림 3.14와 같다.

표 3.10 시추조사 결과

구 분	지층상태		분포심도 (m)	층후 (m)	N-값 (회/cm)
	구성성분	색조			
매립층	실트질 모래	갈색	0.0~0.3	0.3	-
풍화토	실트질 모래	담갈색	0.3~6.0	5.7	22/30~50/12
풍화암	실트질 모래	담갈색, 암갈색	6.0~16.0	10.0	50/10~50/2

표 3.11 표준관입시험 결과

공 번	심도(m)										SPT (회)
BH-1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	16
	22/30	50/27	50/20	50/21	50/12	50/10	50/7	50/6 (N/S)	50/4 (N/S)	50/3 (N/S)	
	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0					
	50/3 (N/S)	50/2 (N/S)	50/2 (N/S)	50/2 (N/S)	50/2 (N/S)	50/2 (N/S)					

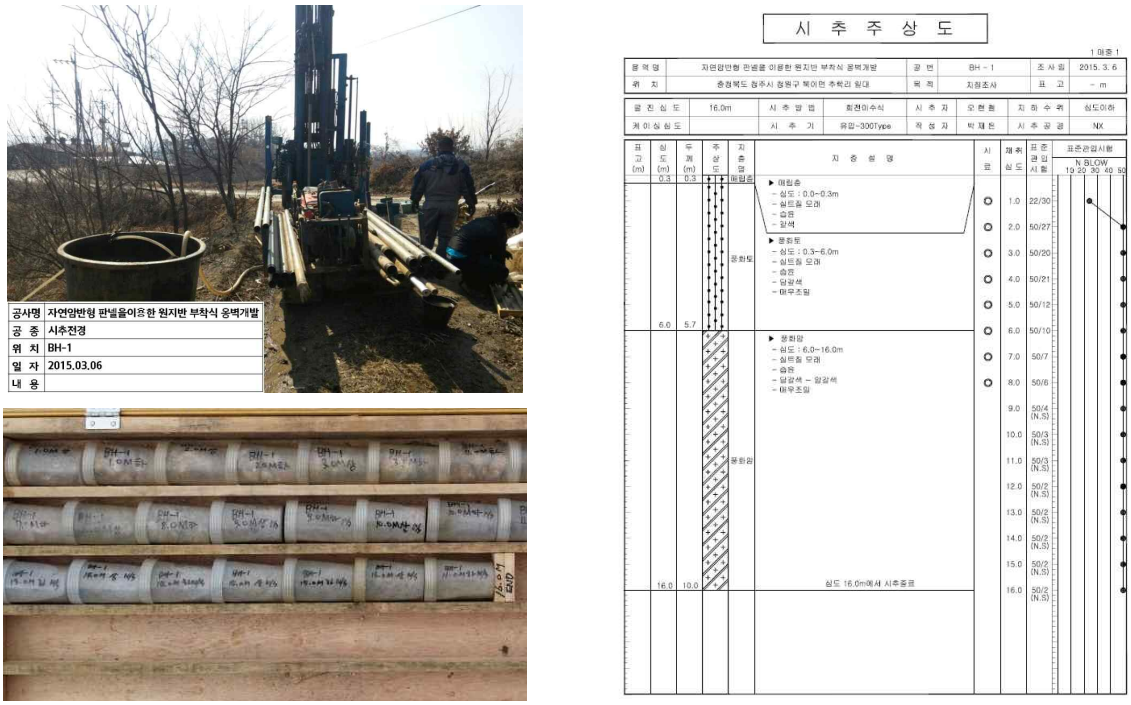


그림 3.14 조사 전경 및 시추주상도

(3) 공내재하시험

- 지반의 변형특성(변형계수 및 탄성계수)을 파악하기 위하여 풍화토 및 풍화암을 대상으로 공내재하시험을 시행하였다.

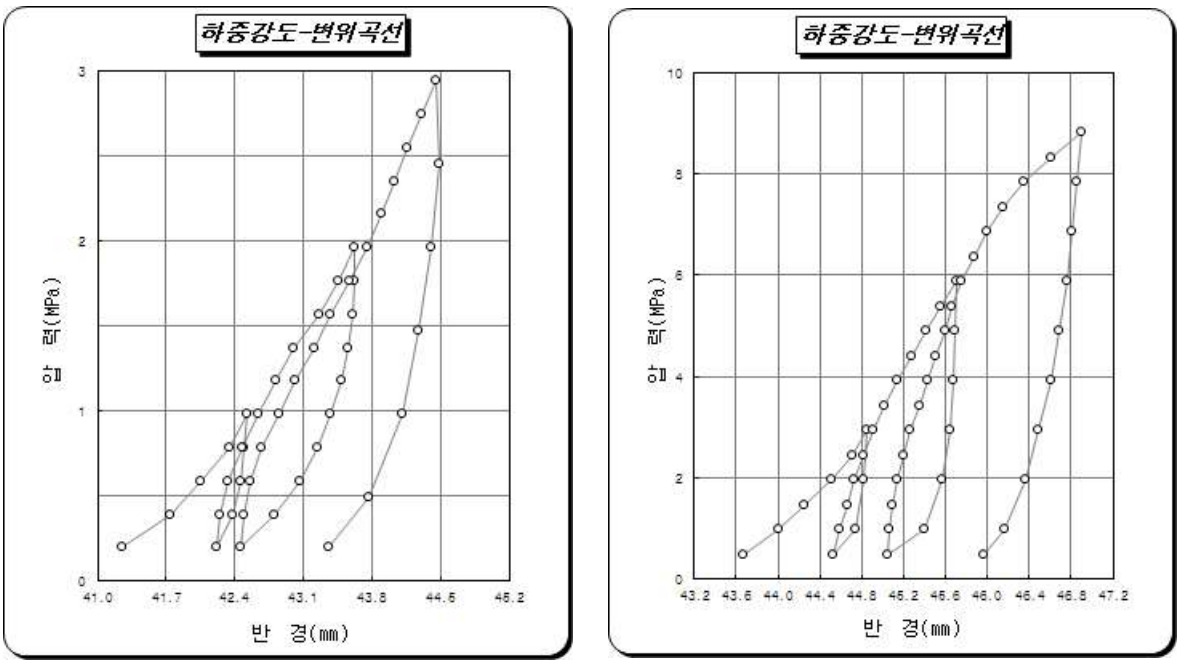
- 공내재하시험은 시험 심도까지 Sonde를 삽입한 후 가압장치로 고무튜브를 팽창시켜 단계별로 하중을 증가시키는 시험으로 대상 지반의 변형특성 및 수평방향 변형계수와 지반반력계수를 산정할 수 있다.

- 공내재하시험 결과는 시험시공 비탈면의 안정성 검토와 수치해석 시 기초자료로 활용하였다.

- 공내재하시험 결과는 다음 표 3.12 및 그림 3.15와 같다.

표 3.12 공내재하시험 결과

구 분	시험심도(m)	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)
풍화토	5.0	72	69.5
풍화암	8.0	206	371



(1) 풍화토 (2) 풍화암

그림 3.15 공내재하시험 결과

(4) 공내 전단시험

- 각 지층별 점착력과 내부마찰각을 측정하기 위하여 풍화대를 대상으로 공내전단시험을 시행하였다.

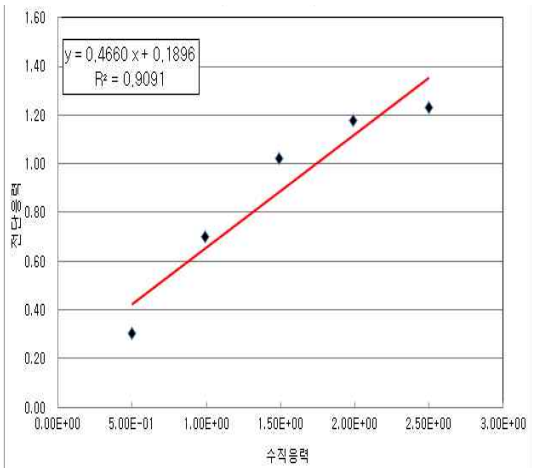
- 공내전단시험은 시추공 내 대상구간에 Shear Head를 삽입하여 공벽에 부착시킨 후 유압잭을 이용하여 Shear Head를 인발하며 파괴 시 전단력을 측정하는 시험으로 대상 지반의 점착력과 내부마찰각을 산정할 수 있다.

- 공내재하시험 결과는 시험시공 비탈면의 안정성 검토와 수치해석 시 기초자료로 활용하였다.

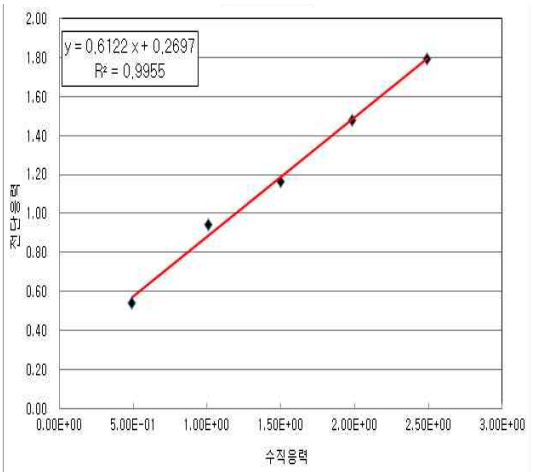
- 공내전단시험 결과는 다음 표 3.13 및 그림 3.16과 같다.

표 3.13 공내전단시험 결과

구 분	시험심도(m)	점착력(kPa)	내부마찰각(˚)
풍화토	5.0	19	25
풍화암	8.0	27	31



(1) 풍화토 시험결과



(2) 풍화암 시험결과

그림 3.16 공내전단시험 결과

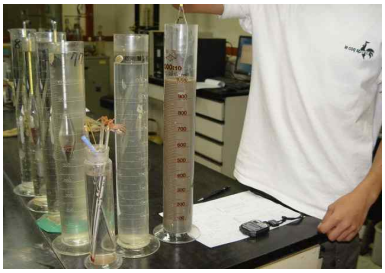
(5) 실내시험

- 본 조사지역에 분포되어 있는 지층의 토질종류와 기본특성 등을 파악하여 설계에 필요한 지층별 자료 제공하기 위하여 실내 토성시험을 수행하였다.

- 실내 토성시험은 과업구간 내 존재하는 풍화토에 대하여 수행되었으며 그 결과는 다음 그림 3.17 및 표 3.41와 같다.

(1) 함수비 시험

(2) 액성한계시험

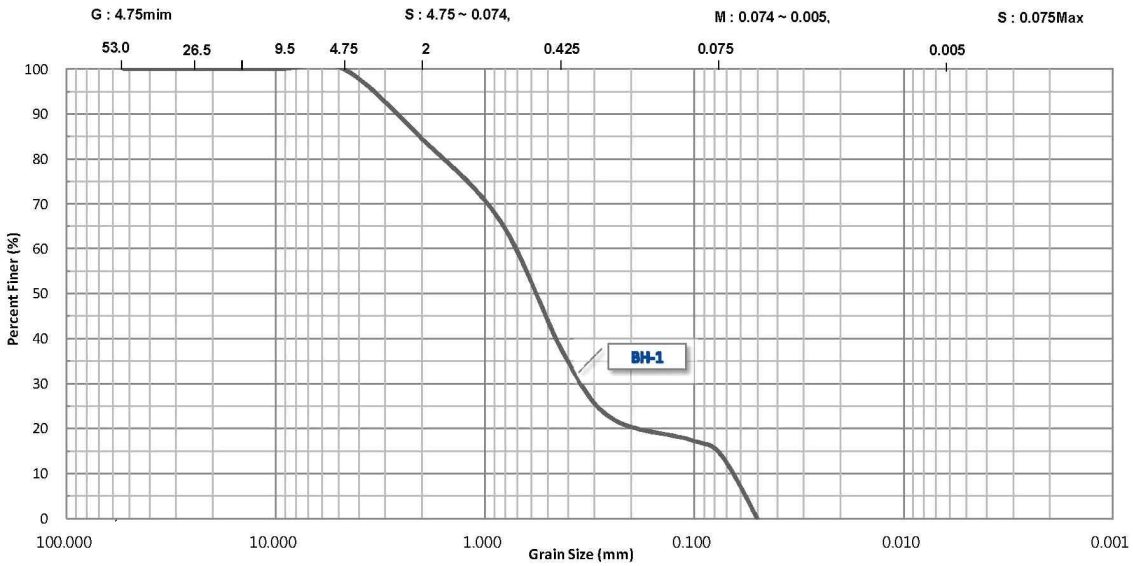


(3) 입도분석

그림 3.17 실내시험 전경

표 3.14 실내시험 결과

공 번	시험심도 (GL.-m)	Wn (%)	비중 (Gs)	Atterberg Limits (%)		Grain Size Distribution %, Finer than			통 일 분 류
				LL	PI	mm 4.75	mm 0.074	mm 0.005	
BH-1	4.0	7.61	2.66	N.P	N.P	100.0	14.3	0.0	SM



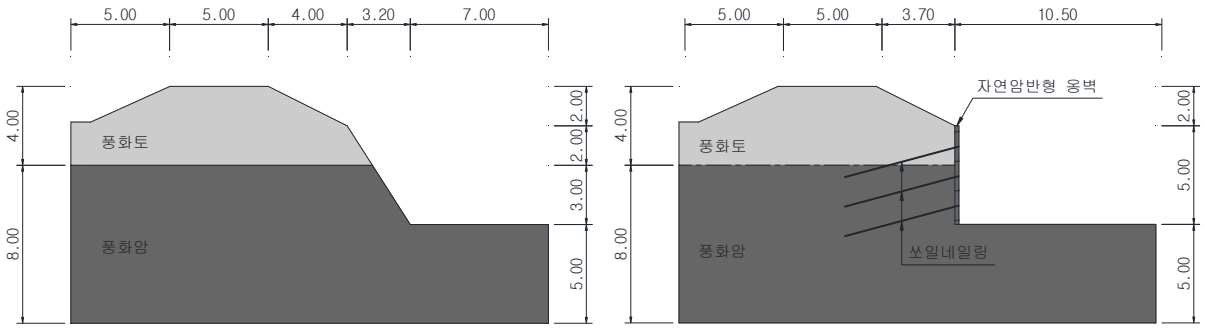
다. 예비해석

(1) 예비해석 개요

- 지반조사를 통하여 산정된 설계 지반정수의 적성성 및 시험시공 비탈면의 안정성을 검토하기 위하여 예비해석을 수행하였다.

- 예비해석은 시공단계를 고려하여 수직굴착시, 보강 전·후, 상재하중 재하시에 대하여 검토하였으며 안전율 기준은 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011)을 준용하여 적용하였다.

- 예비해석은 비탈면 한계평형해석 프로그램인 Talren 97을 이용하였으며 해석단면은 다음 그림 3.18, 적용 물성치는 표 3.15 및 3.16과 같다.



(1) 시험시공 전 원지반 (2) 시험시공 후 옹벽비탈면

그림 3.18 예비해석 대표단면

표 3.15 설계지반정수

구 분	단위중량 (kN/m^3)	점착력 (kPa)	내무마찰각 (°)	포아송비	변형계수 (MPa)
풍화토	19	19	25	0.35	70
풍화암	20	27	31	0.33	200

표 3.16 보강재 제원

구 분	단위중량 (kN/m^3)	변형계수 (MPa)	비 고
쏘일네일링	78.5	210,000	D29(Φ 28.6mm), 천공경 114.0mm
패널	25.0	25,800	철근콘크리트(압축강도 24MPa)

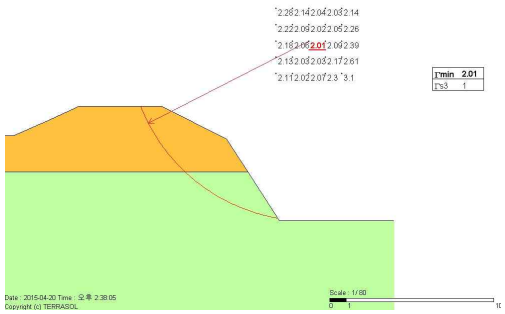
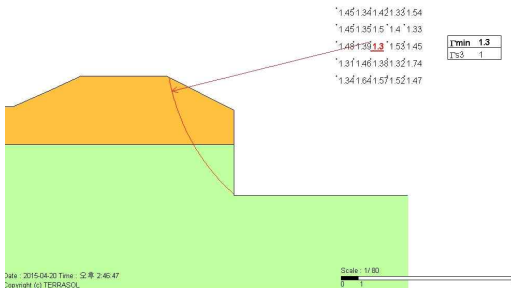
(2) 원지반 및 임시비탈면 안정성 검토결과

- 지반조사결과를 토대로 산정된 지반 물성치의 적정성을 확인하고 시험시공 시 수직으로 형성되는 임시비탈면에 대한 안정성 검토를 수행하였다.

- 검토결과 원지반 및 임시비탈면 모두 기준안전율을 만족하여 안정성을 확보하는 것으로 평가되었으며 지반조사결과 산정된 지반 물성치는 적절한 것으로 판단된다.

- 안정성 검토결과는 다음 표 3.17과 같다.

표 3.17 원지반 및 임시비탈면 안정성 검토결과

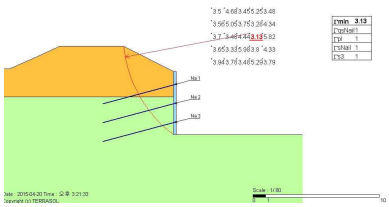
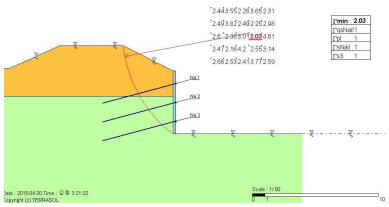
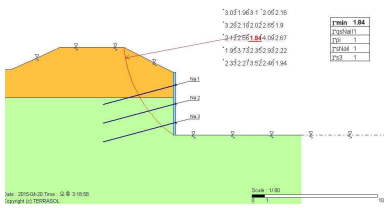
원지반	임시비탈면
	
F.S = 2.01 〉 1.50 ∴ O.K	F.S = 1.30 〉 1.10 ∴ O.K

(3) 시험시공 비탈면 안정성 검토

- 시험시공 비탈면에 대한 안정성 검토결과 건기시, 우기시, 지진시 모두 기준안전율을 만족하여 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다.

- 안정성 검토결과를 정리하면 다음 표 3.18과 같다.

표 3.18 보강 후 안정성

건기시	우기시	지진시
		
F.S = 3.13 〉 1.5 ∴ O.K	F.S = 2.03 〉 1.2 ∴ O.K	F.S = 1.84 〉 1.1 ∴ O.K

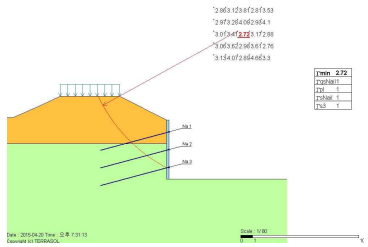
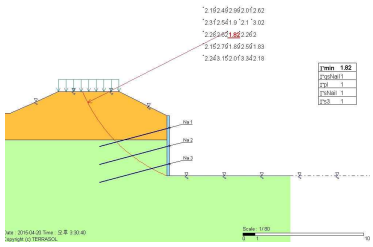
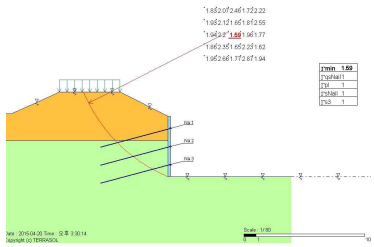
(4) 교통하중에 대한 안정성 검토

- 시험시공 비탈면 상부는 차량통행이 빈번한 진입도로이므로 시공 완료 후 교통하중에 대한 안정성 검토가 반드시 수행되어야 한다.

- 시험시공 비탈면의 교통하중에 대한 안정성 검토결과 건기시, 우기시, 지진시 모두 기준 안전율을 만족하여 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다.

- 안정성 검토결과를 정리하면 다음 표 3.19와 같다.

표 3.19 교통하중에 대한 안정성 검토결과

건기시	우기시	지진시
		
F.S = 2.72 〉 1.5 ∴ O.K	F.S = 1.82 〉 1.2 ∴ O.K	F.S = 1.59 〉 1.1 ∴ O.K

(5) 검토결과 요약

- 시험시공 비탈면에 대한 예비해석 결과 지반조사를 토대로 산정된 지반 물성치는 적정한 것으로 평가되었으며 시공 중 수직비탈면 또한 단기안정성을 확보하는 것으로 평가되었다.

- 또한, 시험시공 비탈면은 상시 및 교통하중 재하시 모두 안정성을 확보하여 시험시공 완료 후에도 영구비탈면으로써 기능에 문제가 없는 것으로 평가되었다.

- 안정성 검토결과를 요약하면 다음 표 3.20과 같다.

표 3.20 검토결과 요약

구 분	건기시	우기시	지진시	비고
원지반	2.01 〉 1.5 ∴ OK	-	-	단기 안전율 적용
굴착 후	1.30 〉 1.0 ∴ OK	-	-	
보강 후	3.13 〉 1.5 ∴ OK	2.03 〉 1.2 ∴ OK	1.84 〉 1.1 ∴ OK	상시 안전율 적용
교통하중	2.72 〉 1.5 ∴ OK	1.82 〉 1.2 ∴ OK	1.59 〉 1.1 ∴ OK	

라. 시험시공

(1) 시험시공 개요

- 자연암반형 패널 시작품과 시공방법에 대한 현장 적용성을 평가하기 위하여 시험시공을 수행하였다.

- 현장 시험시공에 적용된 옹벽은 폭 6.0m, 높이 5.0m로 1.5×1.5 규격의 자연암반형 패널 12장이 시공되었으며 시험시공에 적용된 보강재는 쏘일네일링 예비해석 결과를 토대로 SD400, D29규격의 이형철근 6.0m를 적용하였다.

- 현장 시험시공은 충청북도 청주시 청원군 추학리에 있는 OO콘크리트 공장 배후비탈면에서 수행되었으며 시공 단계별 수행내용 및 시험시공 순서는 다음 표 3.21 및 그림 3.19와 같다.

표 3.21 시공단계별 수행내용

시공단계		수행 내용
1단계	사전준비	• 주변정리 및 굴착라인 측량, 필요자재 준비
2단계	수직굴착	• 굴삭기를 이용하여 비탈면 수직굴착 및 토공처리
3단계	기초 설치	• 기초설치부 터파기 및 기초블록 설치
4단계	배수재 설치	• 연직배수재 및 유공관 설치, 쇄석 채움
5단계	1단옹벽 설치	• 1단 패널 부착, 네일링 및 그라우팅, 양생 대기
6단계	2단옹벽 설치	• 2단 패널 부착, 네일링 및 그라우팅, 양생 대기
7단계	3단옹벽 설치	• 3단 패널 부착, 네일링 및 그라우팅, 양생 대기
8단계	경계부 마감	• 옹벽 상부 및 측면 마감처리
9단계	옹벽 마감	• 옹벽 전면판 캡핑 및 자연색 도색

(1) 패널, 네일 등 자재 준비

(2) 옹벽 설치부 측량

그림 3.19 시험시공 순서 (계속)

(3) 비탈면 굴착

(4) 수직도 확인

(5) 기초설치부 터파기

(6) 수직굴착 완료

(7) 기초블록 및 유공관 설치

(8) 연직배수재 설치 및 쇄석채움

(9) 1단 패널부착

(10) 1단 네일링 천공

(11) 1단 네일 설치

(12) 1단 그라우팅

그림 3.19 시험시공 순서 (계속)

(13) 2단 패널부착

(14) 2단 네일 천공

(15) 2단 네일 설치

(16) 2단 그라우팅

(17) 3단 패널부착

(18) 3단 네일 천공

(19) 3단 네일 설치 및 그라우팅

(20) 상부 마감처리

(21) 옹벽 전면판 마감

(22) 시험시공 완료

그림 3.19 시험시공 순서

(2) 계측계획

- 시공 중 옹벽 비탈면의 안정성을 확인하고 시공 완료 후 장기적 거동특성을 파악하기 위하여 계측을 수행하였다.

- 계측은 시공된 전체 패널과 보강재에 대해서 수행되었으며 설치된 계측기의 제원 및 배치도는 다음 표 3.22와 그림 3.20과 같다.

표 3.22 계측기 제원

계측기	수량	설치목적
지중경사계 (Inclinometer)	1EA	• 지반의 수평변위량을 측정하여 연속적인 횡방향 변위와 변화속도 및 지반거동을 파악하기 위함
토압계 (Earth Pressure Gauge)	12EA	• 벽체 패널 및 배면지반에 작용하는 토압을 파악하기 위함
하중계 (Load Cell)	12EA	• Soil Nail에 작용하는 축력을 파악하기 위함
변형률계 (Strain Gauge)	72EA	• Soil Nail에 작용하는 응력을 파악하기 위함
침하판 (Settlement Plate)	2EA	• 옹벽 기초 지반침하 측정

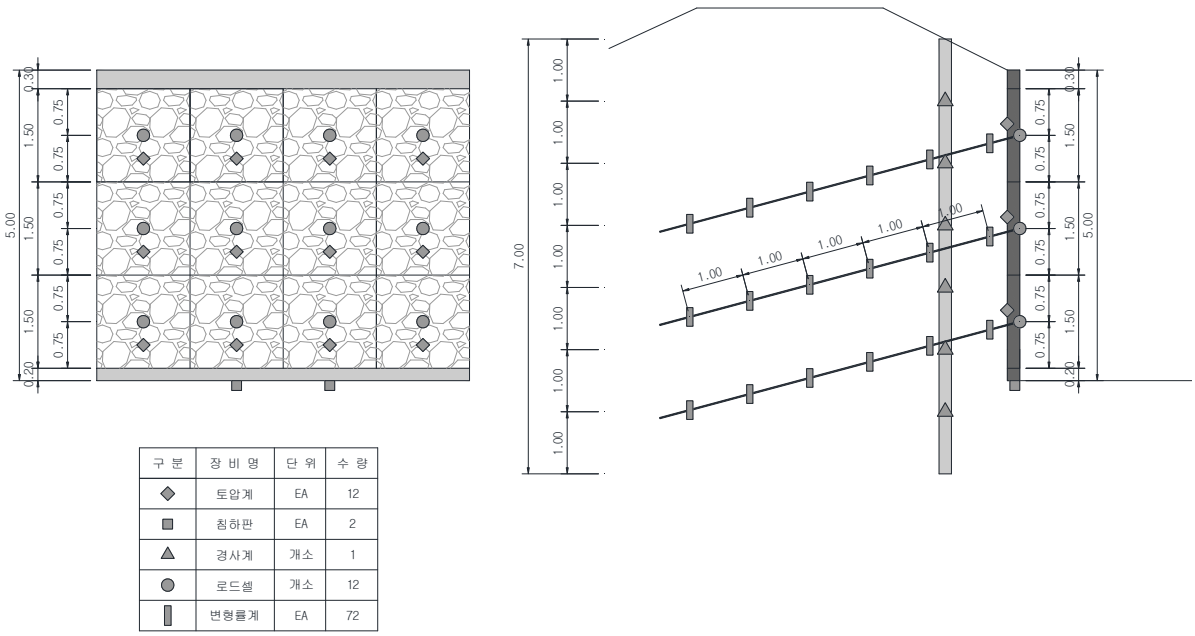


그림 3.20 계측기 배치도

(3) 시험시공 결과

(가) 쏘일네일링 인발시험

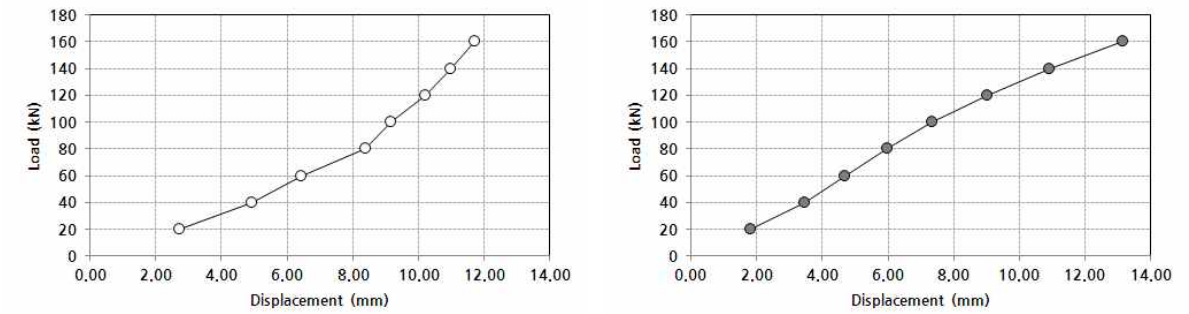
- 시험시공 시 적용된 쏘일네일링의 시공 건전성 확인 및 인발거동 특성 규명을 위한 기초자료 수집을 위하여 현장인발시험을 수행하였다.

- 인발시험 시 최종하중은 시험시공에 적용된 SD400, D29 이형철근의 설계인장강도인 112.42kN의 150%인 168.63kN까지 재하하였으며 하중은 20kN 단위로 단계별 재하를 실시하였다.

- 인발시험은 중앙 좌측열에 대하여 단별로 1회씩 총 3회 수행되었으며 인발시험 결과는 다음 표 3.23 및 그림 3.21과 같다.

표 3.23 현장 인장시험 결과

구분	유압잭(kN)	Load Cell(kN)	변위량(mm)	비고
1단 네일	160	166.4	11.72	3단 네일은 네일 L/S링 파손으로 일부만 수행
2단 네일	160	168.9	13.12	
3단 네일	105	80.6	9.00	



(1) 1단 시험결과 (2) 2단 시험결과

그림 3.21 쏘일네일링 인발시험 결과

- 인발시험 결과 설계하중의 150%에 해당하는 하중에 대해서도 패널의 펀칭 또는 균열 등의 파괴징후는 발견되지 않았으며 변위 또한 보강재 길이의 0.2% 내외로 구조물의 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다.

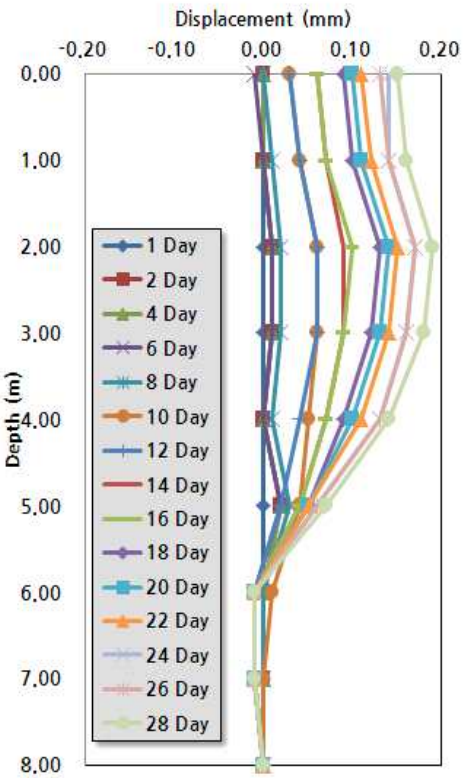
- 3단 쏘일네일링의 경우 시험 중 Liner Screw의 파손으로 인하여 목표하중까지 재하하지 못하여 시험결과에서는 제외되었다.

(나) 현장계측 결과

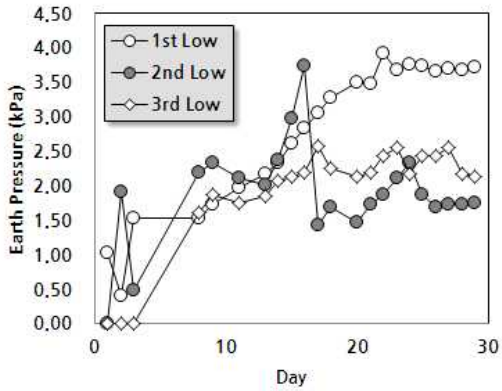
- 시공 중 및 시공 후 패널식 옹벽으로 보강된 비탈면의 안정성을 점검하기 위하여 설치된 지중경사계, 토압계 및 침하계에 대하여 시공 중 1주, 시공 후 3주 총 4주에 걸쳐 계측을 수행하였다.

- 계측 수행결과 지중경사계 최대변위량 0.19mm, 패널에 작용하는 최대 토압 3.93kPa, 침하계의 최대 변위량 0.3mm로 패널식 옹벽으로 시공된 비탈면에서 변위 및 토압의 발생은 미미한 것으로 평가되었다.

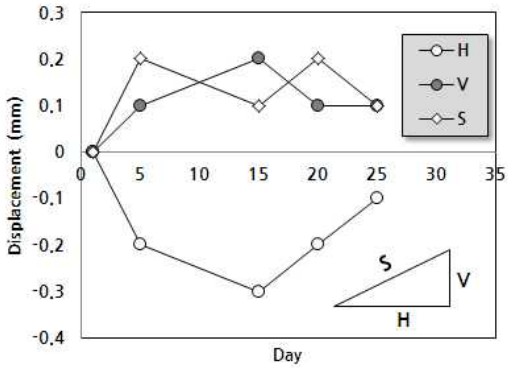
- 또한 장기적으로 토압 및 변위가 점차 수렴하는 양상을 나타내고 있으므로 패널식 옹벽 비탈면의 장기적 안정성에도 문제가 없는 것으로 판단된다.



(1) 지중경사계



(2) 토압계



(3) 침하계

그림 3.22 현장계측 결과

5. 수치해석적 검증

가. 수치해석 개요

- 현장 시험시공 및 계측결과에 대한 검증을 위하여 수치해석을 이용한 3차원 모델링을 수행하였다. 수치해석에 사용된 프로그램은 지반공학 분야에서 연구와 실무에 널리 사용되고 있는 범용 유한요소해석 프로그램인 MIDAS GTS NX이다.

- 수치해석 시 적용된 지층선 및 물성치는 시험시공부지에서 수행된 시추조사, 실내 및 현장시험결과를 적용하였다. 수치해석 시 적용된 지반 물성치는 다음 표 3.24와 같다.

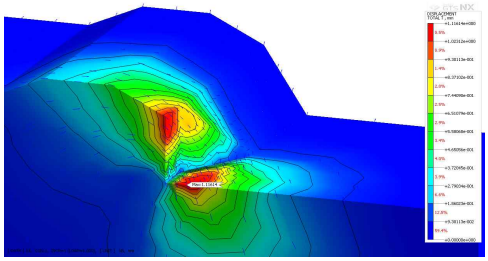
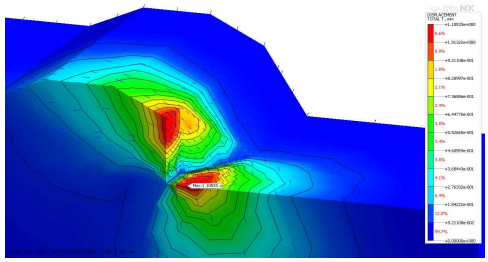
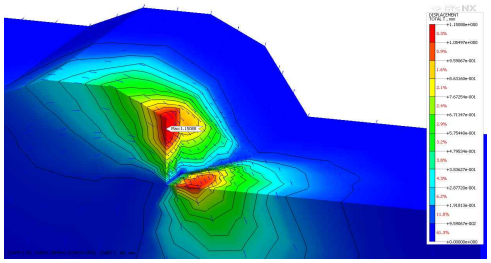
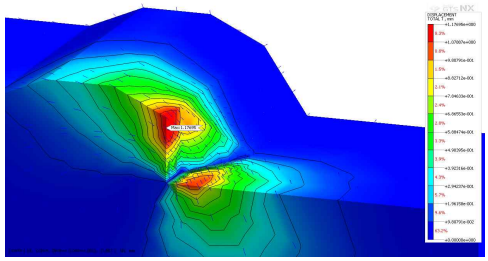
표 3.24 설계지반정수

구 분	단위중량 (kN/m^3)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	포아송비	변형계수 (MPa)
풍화토	19	19	25	0.35	70
풍화암	20	27	31	0.33	200

나. 수치해석 결과

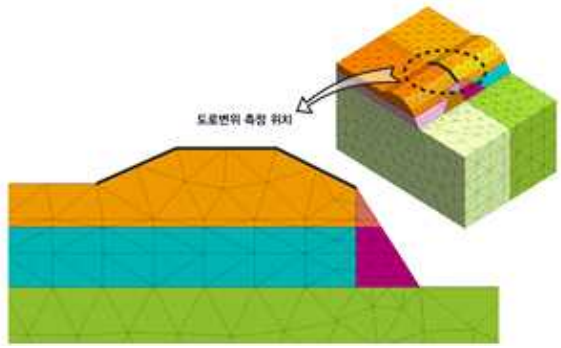
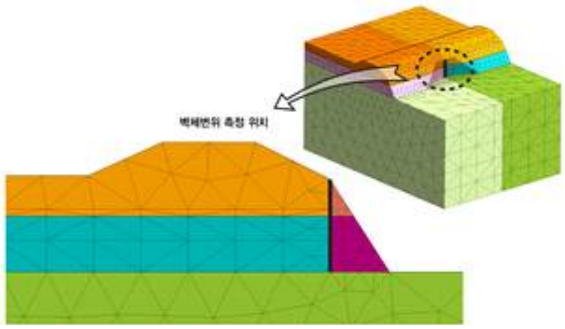
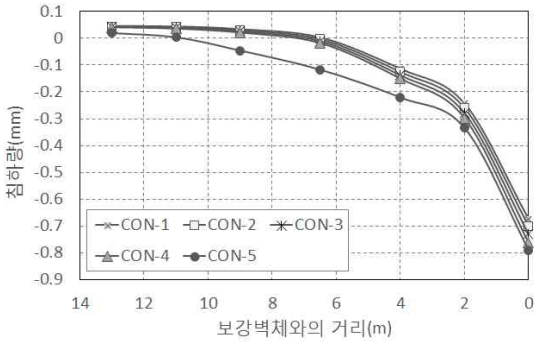
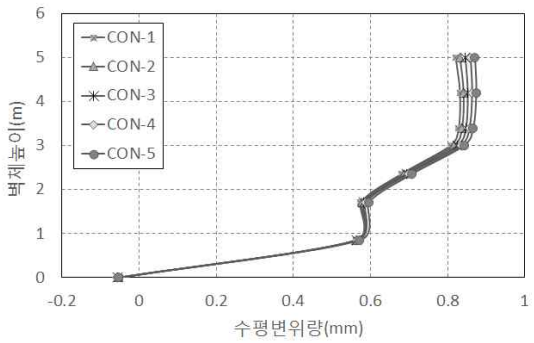
(1) 시공단계별 지반변위 발생 경향

표 3.25 시공단계별 지반변위

수직굴착 직후	1단 패널 및 네일링 시공
	
최대변위 1.116mm	최대변위 1.105mm
3단 패널 및 네일링 시공	**상재하중 재하시**
	
최대변위 1.151mm	최대변위 1.177mm

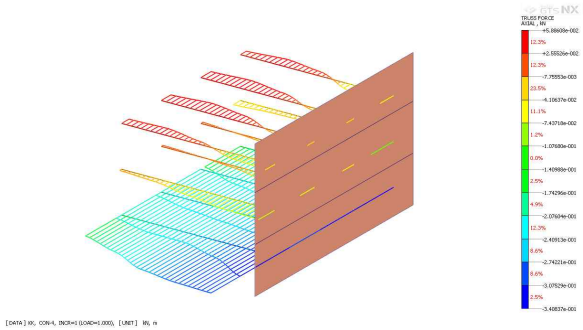
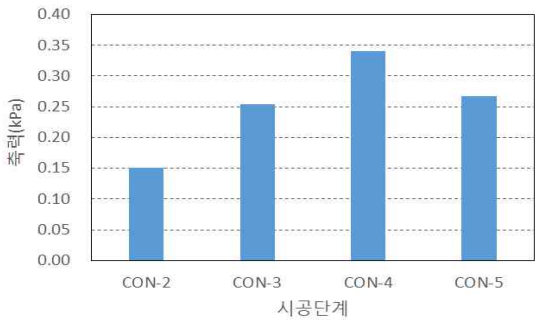
(2) 시공단계별 도로 및 패널 수평변위

표 3.26 시공단계별 도로 및 패널 수평변위

도로 변위	패널 수평변위
	
	
최대침하량 : 0.789mm	최대수평변위 0.874mm

(3) 시공단계별 보강재 축력

표 3.27 시공단계별 보강재 축력

쏘일네일 축력	
	

• 쏘일네일의 최대 축력은 3단 패널 시공완료 후 발생하나 최대값이 0.341kPa로 미소하게 발생함. 따라서 네일 안정성 확보가 가능함

(4) 시공단계별 패널 응력

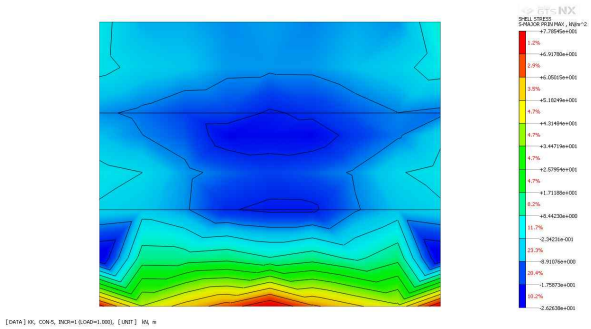
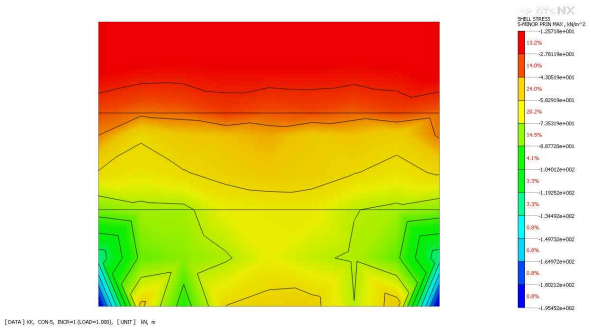
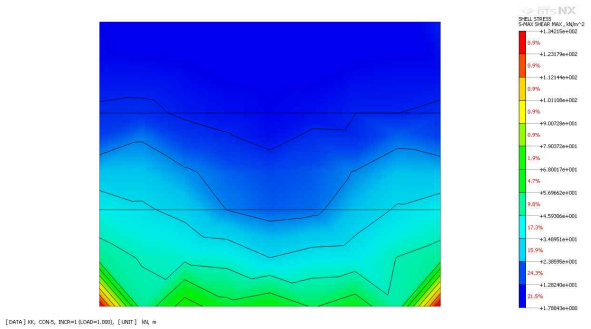
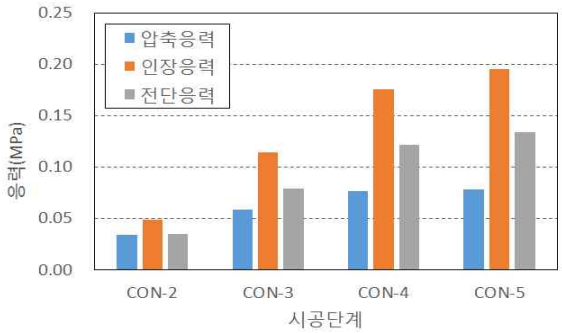
- 자연암반형 패널의 허용응력 값은 다음 표 3.28과 같으며 발생 응력은 상재하중 재하 시 가장 크게 발생하는 것으로 나타났다.

- 또한, 시공단계별 패널의 응력에 대한 검토결과 최대 휨압축응력 0.078MPa, 최대 인장응력 0.195MPa, 최대 전단응력 0.134MPa로 평가되어 모두 허용치 이내로 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다(표 3.29).

표 3.28 패널의 허용응력

구 분	허용압축응력	허용인장응력	허용전단응력
콘크리트	f_{ca} $0.4f_{ck} = 9.60$ MPa	$f_{ta} = 0.13$ $f_{ck} = 0.64$ MPa	$\tau_{ta} = 0.08\sqrt{f_{ck}} = 0.39$ MPa

표 3.29 시공단계별 패널응력

압축응력도	인장응력도
	
• 최대 휨압축응력 : 0.078MPa	• 최대 인장응력 : 0.195MPa
전단응력도	**시공단계별 해석결과**
	
• 최대 전단응력 : 0.134MPa	• 모든 시공단계에서 허용응력 만족

6. 원지반 부착식 옹벽공법 개선

• 1차 시작품 제작과 실내 및 현장시험 결과 다음과 같은 문제점들이 발생하였다.

① 전면 문양판의 재질을 고무로 할 경우 고압 열성형이 필요하며 고압 열성형 시설을 구축하기 위한 시설투자비가 과다하여 제품 원가상승의 요인으로 작용
② 다양한 토질에 대한 적용성을 높이기 위하여 패널 규격을 1,500mm×1,500mm에 국한시키지 않고 다양한 규격의 제품이 생산 가능해야 함
③ 다양한 형태의 비탈면에 적용하기 위하여 사각형 형태의 패널 뿐만 아니라 삼각형 형태의 패널 제작 필요
④ 실내시험 결과 패널의 파괴강도가 97kN으로 일반적인 쏘일네일링 보강재의 설계축력 112kN~128kN(SD350, D29~SD400, D29)에 못 미치므로 보강재의 설계축력 이상을 확보하기 위한 추가적인 보강대책 필요
⑤ 시작품 제작 결과 하나의 패널의 경우 자연암반형 질감이 잘 표현된 것으로 평가되었으나 시험시공 결과 연결된 패널이 전체적으로 조화를 이루지 못함
⑥ 자연암반형 패널의 색감을 표현하기 위하여 시공 완료 후 페인트 및 안료를 이용한 패널 도색을 계획하였으나 균질한 색감표현 및 장기적으로 색감유지가 어려운 것으로 나타남
⑦ 패널 시공 후 보강재 보호를 위한 두부 캡 설치 시 두부 캡이 패널의 문양 및 색감과 조화를 이루지 못하고 전반적으로 부자연스러움
⑧ 패널 2~3단(3.0~5.0m) 단위의 Semi-Top-Down 시공은 가능하나 패널 1단(1.5m) 단위의 완벽한 Top-Down 시공의 어려움

• 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 패널 제작을 위한 몰드, 패널 배근, 두부 캡에 대한 수정 보완작업을 수행하였으며 기존 패널 시공현장 기술자들을 대상으로 시공방법 개선에 대한 자문을 수행하였다.

• 전면 문양판의 재질에 대하여 별도의 고압 열성형이 필요 없는 우레탄 실리콘 등의 대체 재료에 대한 검토를 수행하였으며 추가적인 몰드의 제작 없이 패널의 규격, 형태 등을 적용 현장에 맞게 변경할 수 있도록 몰드를 개선하였다.

• 패널의 강도문제를 해결하기 위하여 1차 실내시험결과와 파괴양상 등을 토대로 추가배근 및 보강방안에 대한 연구를 수행하였으며 일반적인 쏘일네일링의 설계축력인 128kN 이상의 강도를 발휘하도록 개선하였다.

• 또한, 자연암반형 패널의 반 영구적인 색감 발현을 위하여 시공완료 후 페인트와 안료를 덧칠하는 방식에서 패널 제작 시 콘크리트 타설 전 안료 및 착색제를 미리 금형 및 콘크리트에 첨가하는 방식으로 변경하였다. 두부 캡 또한 동일한 방법으로 제작하도록 하여 두부 캡 설치 후에도 자연스러운 경관을 형성하도록 개선하였다.

가. 자연암반형 패널 몰드 개선

(1) 전면 문양판 재질 개선

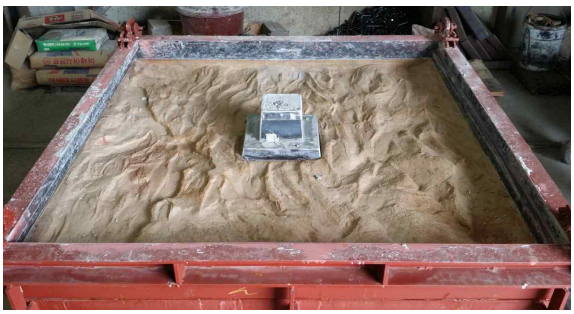
- 시제품의 전면 문양판은 고강도 콘크리트를 전문가의 도움을 받아 인공적인 암반 문양으로 성형을 한 후 문양 위에 탈형을 위해 사용되는 이형유(Pan Oil)에 대한 저항성이 높은 NR(Natural Rubber)고무를 고압 열성형하는 방식으로 제작하였다.

- 그러나 이러한 전면 문양판의 제작은 고압 열성형을 위한 특수시설이 필요하므로 몰드의 제작단가를 높이는 결과를 초래하였다.

- 따라서, 자연암반형 패널의 원가절감을 위하여 전면 문양판 재질에 대한 재검토를 수행하였으며 그 결과는 다음 표 3.30 및 그림 3.23과 같다.

표 3.30 전면 문양판 재질 검토

구 분		우레탄	NR고무	실리콘
자재 단가		20,000 원/kg	15,000 원/kg	40,000 원/kg
자재 특성	내마모성	우수	우수	우수
	열변형성	낮음	낮음	우수
	인 성	보통	보통	우수
성형 방법		2액형 대기양생	고압 열성형	2액형 대기양생
시설비		-	1억원 이상	-
검토 결과		• 기존 NR고무의 경우 재료비가 다소 저렴하나 고압 열성형을 위한 고가의 시설이 별도로 필요함 • 실리콘의 경우 별도의 시설이 필요 없이 성형 가능하며 내마모성, 열변형성 및 인성 측면에서 모두 우수하나 재료비가 기존 재료 대비 2배 이상 고가 • 따라서, 기존 NR고무에 비해 재료비 측면에서 25%정도 고가이나 성형을 위한 별도의 시설이 필요 없는 우레탄을 적용하는 것이 경제성 측면에서 유리하며 향후 대량생산 시 원가절감 방안으로 적합함		



(1) 수정 전 (NR고무)

(2) 수정 후 (우레탄)

그림 3.23 자연암반형 패널 전면문양판 개선

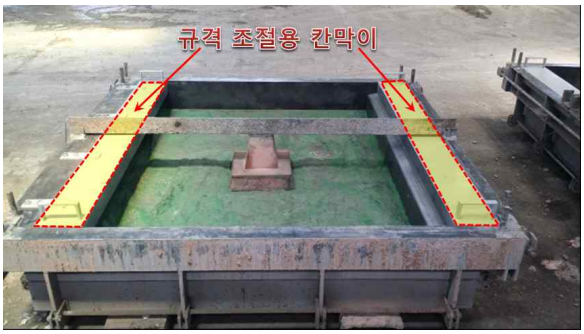
(2) 패널 규격 및 형태 변경

- 패널식 옹벽 공법의 단점은 토질에 상관없이 보강재의 간격이 일정하다는 것과 정사각형 또는 직사각형 형태의 정형화된 패널 형태로 인하여 자연스러운 비탈면의 형성이 어렵다는 것이다.

- 이러한 단점을 개선하기 위하여 기존의 경우 규격별 또는 형태별로 별도의 몰드를 제작하여 사용하거나 현장에서 원하는 모양으로 패널을 절단하여 사용하여 왔다.

- 그러나 이러한 방법의 경우 몰드 제작비용이 과다하게 발생할 뿐만 아니라 현장 가공을 할 경우 패널의 배근상태 및 보강재의 위치 등을 고려하지 않은 임의적인 가공으로 인하여 패널 자체의 강도가 저하되는 문제가 발생하였다.

- 이러한 사항들을 개선하기 위하여 본 연구에서는 기존 몰드에 적용할 수 있는 탈부착식 가로막을 개발하여 하나의 몰드에서 다양한 규격 및 다양한 형태의 패널을 생산할 수 있도록 하였다.



(1) 패널 규격 조절

(2) 패널 형태 변경

그림 3.24 자연암반형 패널 몰드 개선

(1) 정사각형

(2) 직사각형

(3) 삼각형

그림 3.25 개선된 몰드의 시제품

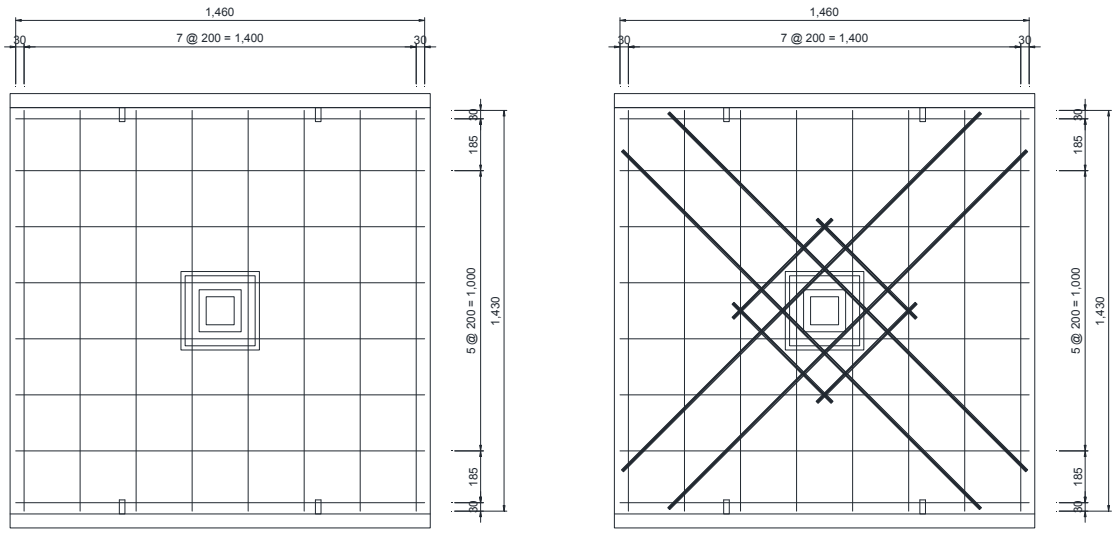
나. 배근형태 개선

- 1차 시작품에 대한 4면지지 펀칭시험 결과 자연암반형 패널의 펀칭강도는 최대 96.69kN으로 평가되었다.

- 이는 일반적으로 적용되는 쏘일네일링 보강재의 설계축력이 112kN~128kN(SD350~SD400, D29)임을 감안할 때 보강재의 항복 전에 패널 파괴에 의한 옹벽붕괴가 발생할 가능성이 있는 것으로 나타났다.

- 따라서 사보강재와 전단철근을 추가하여 토압 및 보강재의 수동저항에 의해 발생되는 패널의 휨 및 펀칭에 효과적으로 저항할 수 있도록 하였다.

- 개선된 패널의 배근형태는 다음 그림 3.26과 같다



(1) 변경 전 (2) 변경 후

그림 3.26 자연암반형 패널 배근형태 개선

- 배근형태가 개선된 패널의 휨 및 펀칭에 의한 파괴강도를 확인하기 위하여 1차 실내실험과 동일한 조건의 4면지지 펀칭시험을 수행하였으며 그 결과 배근형태가 개선된 패널의 경우 일반적인 쏘일네일링 보강재의 설계축력 이상의 강도를 확보하는 것을 확인하였다.

- 파괴양상 또한 사보강재 및 전단철근이 없을 경우 지압판 주변에서 국부적인 파괴가 발생한 것에 비하여 사보강재 및 전단철근이 추가된 경우 패널 전반에 걸쳐 균열이 발생한 것으로 나타나 사보강재 및 전단철근에 의한 하중분산 효과를 입증하였다.

다. 경관성 개선

- 1차 시작품 제작 결과 독립된 하나의 패널은 질감이 자연암반형으로 잘 표현된 것으로 평가되었다. 하지만 시험시공 결과 연결된 다수의 패널은 전체적으로 조화를 이루지 못하며 원거리에서 굴곡이 두드러지게 표현되지 않아 자연스러운 표면 질감이 표현되지 않았다.

- 또한 자연암반형 패널의 색감을 표현하기 위하여 시공 완료 후 페인트 및 안료를 이용한 패널 도색을 계획하였으나 균질한 색감표현 및 장기적으로 색감유지가 어려운 것으로 나타났으며 두부 캡의 이질감에 의해 패널의 자연암반형 질감이 저해되는 것으로 나타났다.

- 따라서 자연암반형 패널의 반 영구적인 색감 발현을 위하여 시공완료 후 페인트 및 안료를 덧칠하는 방식에서 패널 제작 시 콘크리트 타설 전에 안료와 착색제를 미리 금형 및 콘크리트에 첨가하는 방식으로 변경하였다(그림 3.27).

(1) 변경 전

(2) 변경 후

그림 3.27 패널의 색감

- 두부 캡의 경우 별도제작을 통하여 발생하던 이질감과 색상 불균형을 해소하기 위하여 두부 캡 몰드를 패널 몰드와 일체화시켜 패널과 동일한 질감 및 색감을 표현할 수 있도록 개선하였다(그림 3.28).

(1) 변경 전

(2) 변경 후

그림 3.28 패널 두부 캡 개선

라. 시공방법 개선

- 1차년도 시험시공 시 패널 단위의 Top-Down을 구현할 기술력 및 경험이 부족하여 패널 3장(4.5m) 단위의 Semi-Top-Down 방식으로 시험시공을 수행하였다.

- 1차 시험시공 결과 Semi-Top-Down 방식의 시공에 대한 현장 적용성을 확인하였으나 패널 1장 단위의 Top-Down 시공법에 대해서는 가능성 확인에 머물렀다.

- 1차년도 시험시공을 토대로 Top-Down 방식의 시공을 하기 위해서 해결해야 할 사항들을 확인하였으며 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

  ① 상부 시공 시 패널의 높이 및 위치를 일정하게 시공하기 위한 기초처리 방법
  ② 옹벽 배면 배수재의 시공방안
  ③ 공기단축과 경제성 확보를 위한 배면 그라우팅 대체재료

- 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 현재 기존 패널로 주관연구기관이 직접 시공하고 있는 하소일반산업단지 현장에서 기술연구소 연구원들이 상주하며 수차례의 시행착오를 거쳐 패널식 옹벽의 Top-Down 시공법을 보완하였다.

그림 3.29 하소일반산업단지 현장답사 및 업무협의

(1) 패널 정밀시공을 위한 기초처리 방안

- 일정한 패널 설치를 위하여 패널 하부 기초처리는 필수적인 요소이다.

- 기존 옹벽공법은 1개 소단(5.0m)을 한번에 굴착한 후 현장타설 콘크리트를 또는 프리케스트 기초블럭을 이용한 기초처리가 적용되었다.

- 그러나 5.0m에 달하는 높이의 비탈면을 1 : 0.3으로 굴착하고 옹벽을 설치하는 과정에서 임시비탈면에 대한 안정성 문제가 대두되었다.

- 본 연구에서 개발된 옹벽은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 패널 단위(1.5m)의 Top-Down방식을 적용하였으며 이러한 경우 매 단마다 기초를 설치할 경우 하부 굴착 후 패널 거치를 위해 상부 기초를 제거해야 하는 문제가 발생하게 된다.

- 이러한 문제점을 해결하기 위하여 1단굴착 후 원지반에 대한 정밀 레벨측량을 수행하고 패널이 거치될 지점에 합판을 햄머로 타격하여 삽입함으로써 임시기초를 형성하는 방법을 고안하였다.

- 이러한 방법은 본 연구를 통하여 경량화된 패널에 대해서만 적용이 가능하며 시험시공 결과 타격하여 삽입된 합판이 옹벽과 보강재의 체결 및 배면에 채워진 몰탈이 경화되어 패널을 완벽히 지지할 때 까지 임시기초로서 패널의 변위를 억제할 수 있음을 확인하였다.

(1) 임시기초 레벨측량

(2) 임시기초 설치

(3) 합판을 이용한 임시기초

(4) 임시기초 패널거치

그림 3.30 임시기초 형성

(2) 옹벽 배면 배수재 시공방안

- 기존 Bottom-Up 방식의 경우 1개소 단을 한번에 굴착한 후 옹벽시공 전 기초 및 배수재를 설치하므로 배수시스템을 위한 별도의 대책이 필요하지 않았다.

- 그러나 Top-Down 방식의 경우 패널을 상부부터 1단씩 설치하고 마지막 단 굴착 후 기초 및 유공관을 설치하므로 시공완료 후 연속적인 배수시스템 구축을 위한 별도의 대책이 필요하다.

(1) 기초 및 유공관 설치

(2) 배수재 설치 및 잡석채움

그림 3.31 Bottom-Up 시공 시 배수시스템 구축

- 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 단별로 설치되는 배수재를 연속적으로 연결하기 위한 겹이음 방안을 고안하였다.

- 상부 패널 배수재 설치 시 겹이음 길이를 확보하고 현장 발생토를 이용하여 배면 그라우팅 시 배수재를 보호할 수 있도록 하였다.

(1) 최상부 배수재 설치

(2) 현장 발생토를 이용한 겹이음길이 보호

(3) 배수재 겹이음

(4) 하부 유공관 연결

그림 3.32 배면 배수시스템 연속성 확보

(3) 공기단축을 위한 배면 몰탈채움

- 기존 Bottom-Up 방식의 경우 배면 밀크 그라우팅을 통하여 옹벽과 원지반 사이의 여굴을 채우고 그라우트재의 본딩효과를 통하여 옹벽을 고정하도록 하였다.

- 그러나 Top-Down 방식의 경우 하부 굴착을 위해 그라우팅의 양생이 필요하며 일반적인 그라우팅의 양생시간이 7일 임을 감안할 때 공기에 막대한 영향을 미칠 수 있다.

- 또한 옹벽 틈새로 그라우트액의 누수가 발생하여 전면 미관을 해치는 경우가 발생하였다.

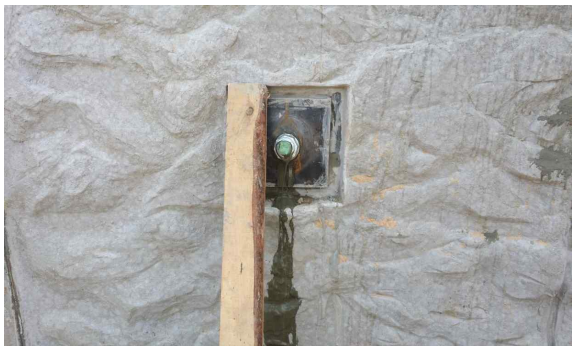


그림 3.33 그라우트액 전면 유출

- 따라서 본 연구에서는 공기단축과 뒤채움재의 전면 유출을 방지하기 위하여 뒤채움재를 그라우팅에서 몰탈로 변경 적용하였다.

- 일반적인 몰탈의 경우 1일 압축강도가 15MPa로 하부굴착에 필요한 충분한 강도가 발현되며 초속경 몰탈의 경우 45분 내 도보 가능, 2시간 내 차량통행까지 가능한 것으로 알려져 있다(Sika Korea, 2016).

(1) 몰탈 뒤채움

(2) 1일 양생 후 굴착 전경

그림 3.34 몰탈 뒤채움

7. 실내실험을 통한 성능평가 (2차)

가. 시험 개요

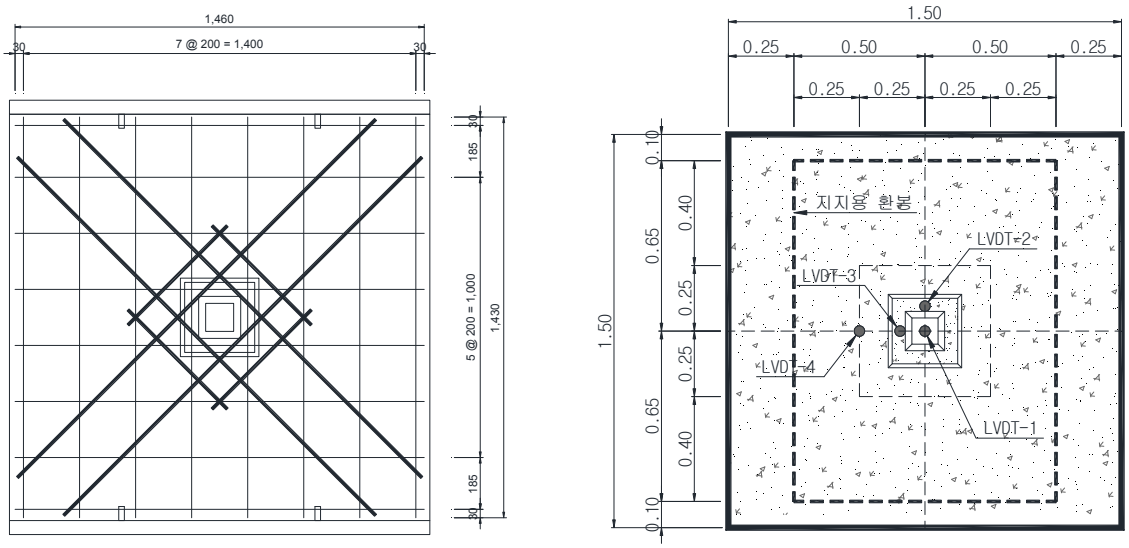
• 개선된 패널의 강도와 거동특성을 확인하고 1차 시험결과와 비교 분석하기 위하여 패널 파괴 재하시험을 수행하였다.

• 패널의 강도시험에 대해서는 별도의 규정이 마련되어 있지 않으므로 실제 토압과 쏘일 네일링의 수동저항에 의한 패널의 휨 및 펀칭파괴상황을 가정하여 수행되었으며 시험 방법은 다음과 같다.

- 시험의 지점 조건은 4면지지로 1,000mm×1,300mm 간격으로 환봉 위에 시험 패널을 설치
- 재하하중은 시험체 중앙부의 지압판 체결구에 250mm×250mm의 블록을 설치하여 정적 가력기로 재하
- 시험의 정밀성을 높이기 위하여 재하 속도는 1mm당 40~80sec속도의 변위제어방식으로 수행

표 3.31 파괴재하시험 Case

구 분	패널 종류	패널 규격	지압판	최대하중
Panel 1	자연암반형	1,500mm × 1,500mm × 150t	250mm × 250mm × 12t	파괴 시
Panel 2				
Panel 3				
Panel 4				



(1) 패널 배근도 (2) 계측기 배치도

그림 3.35 패널 배근도 및 계측기 배치도

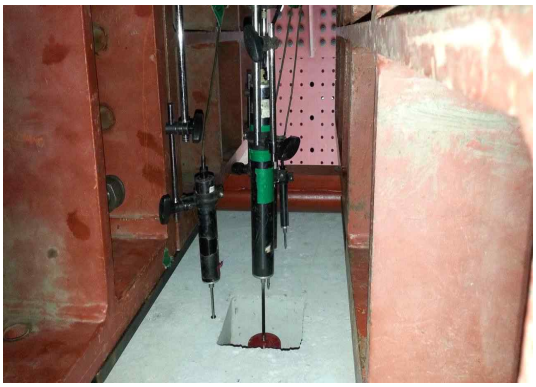
(1) 시험용 패널

(2) 재하판 설치

(3) 가력장치 세팅

(4) 지점부 환봉 상세

(5) 재하장치 수평맞춤



(6) 변위계 설치

(7) Data Logger 설치

(8) 재하시험 수행

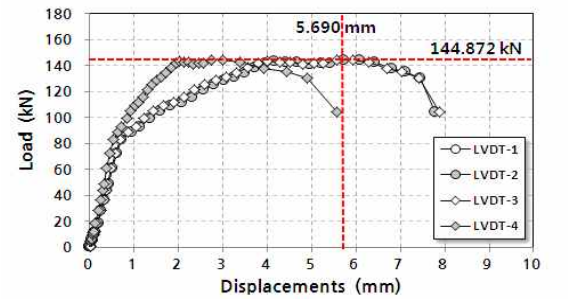
그림 3.36 파괴재하시험 전경

나. 파괴재하시험 결과

• 자연암반형 패널의 파괴 재하시험 결과는 표 3.32 및 그림 3.37과 같다.

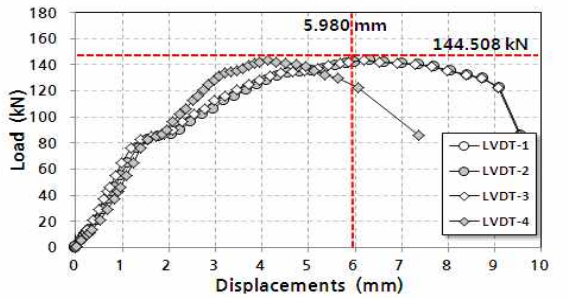
표 3.32 파괴재하시험 결과

구 분	파괴하중 (kN)	파괴시 변위 (mm)	구 분	파괴하중 (kN)	파괴시 변위 (mm)
Panel 1	144.872	5.690	Panel 3	165.828	4.330
Panel 2	144.506	5.980	Panel 4	148.642	4.060



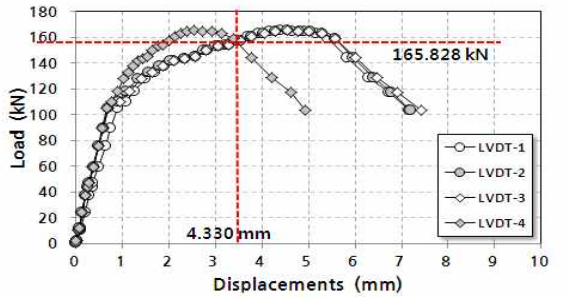
(1) Panel 1 시험결과

(2) Panel 1 파괴양상



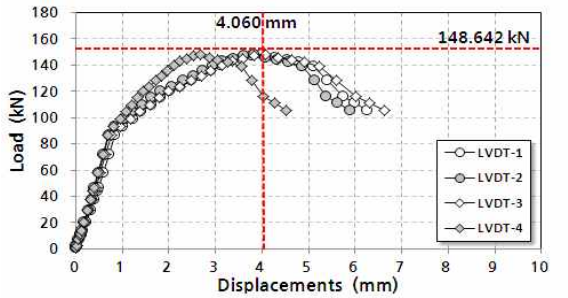
(3) Panel 2 시험결과

(4) Panel 2 파괴양상

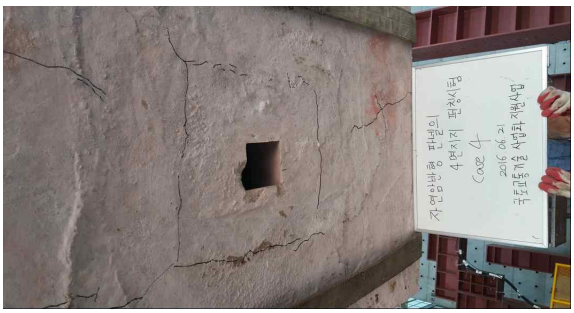


(5) Panel 3 시험결과

(6) Panel 3 파괴양상



(7) Panel 4 시험결과



(8) Panel 4 파괴양상

그림 3.37 파괴재하시험 결과

다. 시험결과 분석

- 시험결과 Panel 3의 경우 다른 시험결과에 비하여 다소 높게 평가되었으며 Panel 3의 결과를 포함할 경우 표준편차 10.085, 변동계수 0.067, 평균값에 대한 최대 오차율 9.847%로 결과값 분석에 대한 신뢰도가 낮아지게 된다.

- 따라서 본 분석에서는 데이터의 신뢰도 및 패널 강도의 과대평가를 방지하기 위하여 Panel 3의 결과를 제외하고 분석을 수행하였다.

- Panel 3의 결과를 제외할 경우 표준편차 2.289, 변동계수 0.016, 평균값에 대한 최대 오차율 4.276%로 데이터 간 상당히 높은 상관성을 나타내게 된다.

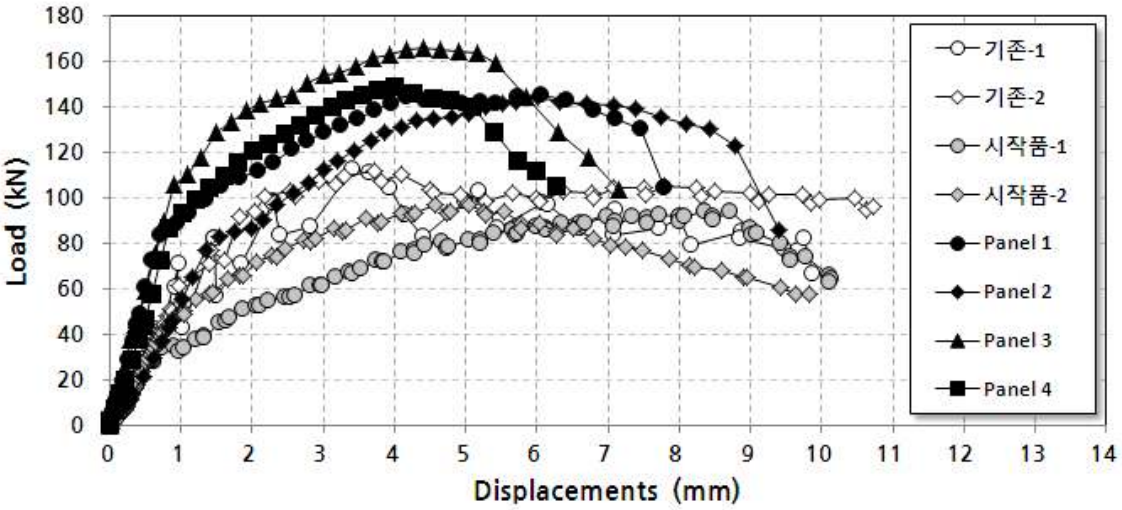


그림 3.38 파괴재하시험 결과 비교

- 개선된 자연암반형 패널에 대한 파괴재하시험 결과 최소 144.508kN, 최대 148.642kN으로 평가되었으며 평균 146.007kN의 강도를 나타내는 것으로 평가되었다.

- 이는 1차년도에 실험된 기존 콘크리트 패널의 평균 파괴강도가 111.660kN, 1차년도 시작품의 평균 파괴강도가 95.355kN임을 감안할 때 기존 콘크리트 패널 대비 130.76%, 1차년도 시작품 대비 153.12%의 강도가 증가한 것으로 확인되었다.

- 파괴양상 또한 지압판을 중심으로 방사형태로 패널 전체에서 균열이 확인되었으며 지압판 주변에서만 파괴가 발생한 1차년도 시작품과 비교하였을 때 사보강 및 전단철근에 의한 하중분산효과를 확인할 수 있었다.

- 일반적인 쏘일네일링의 설계축력이 112kN~128kN임을 감안할 때 보강재 항복 전 패널 파괴에 의한 옹벽붕괴는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

8. 자연암반형 패널의 현장 적용성 평가

가. 평가 개요

- 개선된 자연암반형 패널과 시공방법에 대한 현장 적용성을 평가하기 위하여 자연암반형 패널의 시험시공 및 대형 재하시험을 수행하였다.

- 적용성 평가에 앞서 대상 부지의 지반특성을 파악하기 위하여 지반조사를 수행하였으며 지반조사 결과를 토대로 예비해석을 수행하여 시험시공 비탈면의 안정성을 평가하였다.

- 또한 대형재하시험 및 패널, 보강재 및 비탈면에 대한 정밀 계측을 수행하여 상부 하중에 대한 원지반 부착식 옹벽의 거동특성 분석을 수행하였다.

- 시험시공은 충청북도 옥천군 청성면에 위치한 콘크리트 공장 배후비탈면에서 수행되었으며 시험시공에 적용된 장비 및 현장 전경은 다음 표 3.33 및 그림 3.39와 같다.

표 3.33 시험시공 장비 목록

장비 항목	규격(모델)	활용 내용
크롤러드릴	PCR-200	• 네일공 설치를 위한 천공
공기압축기	900CFM	• 천공을 위한 고압공기 공급
발전기	100kW	• 그라우팅을 위한 소요전력 공급
포크레인	0.2~0.6W	• 비탈면 굴착 및 토사 반출
덤프	25ton	• 굴착에 의한 발생토 운반 및 처리
하이드로 크레인	50ton	• 재하장치 설치
그라우팅믹서	390×2(5kw)	• 그라우트체 혼합
그라우트팅펌프	40~125l/min	• 그라우트체 이송
유압식 인발기	100ton	• 네일 인발시험을 위한 시험기
기타	1식	• 기초그라우팅, 시멘트, 기타자재 등

그림 3.39 시험시공 대상 부지 전경

나. 지반조사

• 시험시공에 앞서 대상 부지의 지반특성을 파악하기 위하여 지반조사를 수행하였으며 조사항목 및 조사에 사용된 장비는 다음 표 3.34 및 3.35와 같다

표 3.34 지반조사 항목

조 사 항 목			수 량	내 용
현장조사	시 추 조 사		1개소	• 지층 및 지하수위 분포, 암질상태 등 파악
	지하수위 측정		1회	• 48시간 경과 시 안정수위 측정
현장시험	표준관입시험		16회	• 지층의 상대밀도 및 연경도 파악
	공내전단시험		2회	• 풍화대층의 전단강도 산출
	공내재하시험		1회	• 지층별 변형특성 파악
실내시험 (토질)	토질 시험	함 수 비	1회	• 흙의 기본 물리적 특성 파악
		비 중	1회	
		액성한계	1회	
		소성한계	1회	
		입도분석	1회	

표 3.35 지반조사 장비

구 분		투 입 장 비	수 량
시 추 조 사	시 추 기	• OP-300 (SP4000, NX용)	1 대
	Engine 및 Pump	• Engine(15Hp), Pump(10Hp)	1 대
	Single Core Barrel	• NX 규격	1 조
	D-3 Core Barrel	• NX 규격	1 조
현 장 시 험	S.P.T Sampler	• Split Spoon Sampler (KS F 2307 규정)	1 조
	지하수위측정	• 자동측정기(L=50m), YAMAYO, Japan	1 조
	공내전단시험기	• Probe ,펌프, 센서, 연결케이블, 호스	1조
	공내재하시험기	• 전단부, 가압장치, 인발장치, 연결용 Rod, 압력전달호스	1조
토 질 시 험		• 흙의 기본물성시험 장비	1 식
기 타		• 기타 부대장비	1 식

(1) 지형 및 지질

(가) 지형

- 본 조사지역은 행정구역상 충청북도 옥천군 청성면 궁촌리 428번지 일원에 위치하고 있다.

- 본 지역의 서쪽에는 505번 지방도가 남북방향으로 지나고, 북쪽으로 약 2.0km지점에 19번 국도가 위치한다.

- 북쪽으로 약 1.2km 지점에 청성면사무소가 위치하고, 북동쪽으로 약 3.4km 지점에 옥천 청산일반산업단지가 위치한다.

- 산계는 사방으로 500m 미만의 산지로 둘러싸여 있으며, 동남쪽으로 약 4.1km 지점에 천관산(445m)이 위치한다.

- 수계는 북쪽으로 인접하여 보청천이 서류하여 금강으로 합류한다.

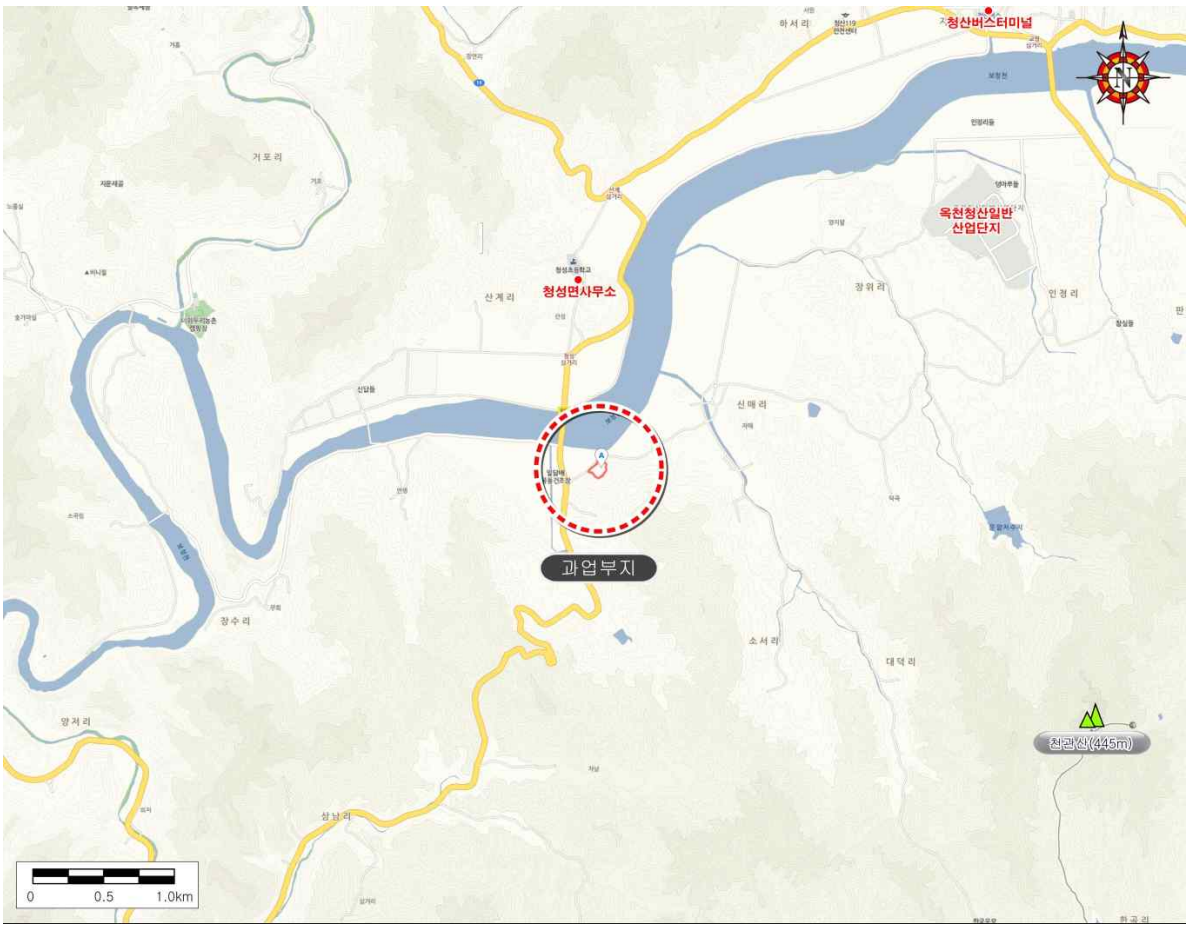


그림 3.40 조사지역 산계 및 수계

(나) 지질

- 옥천누층군 분포의 남동경계부에 해당하는 본 지역은 소백산변성암복합체의 북서경계부에 위치한다.

- 소백산변성암복합체에 해당하는 선캠브리아기의 흑운모편마암, 운모편암 및 화강편마암 등이 본 지역의 북동부에서 남서쪽의 영동읍 가까이에 이르는 대각선의 남동부분에 넓게 분포되어 본 지역의 기저를 이루고 있다.

- 도폭의 북서부에는 시대미상의 반상화강암(청산화강암) 및 복운모화강암과 백악기화강섬록암 등 화강암류가 넓게 분포한다.

- 조사지역의 지질은 고생대 페름기 퇴적암이 퇴적되어진 후, 중생대 쥬라기 화성활동으로 심성암이 관입을 하였다. 이후 신생대 제4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다.

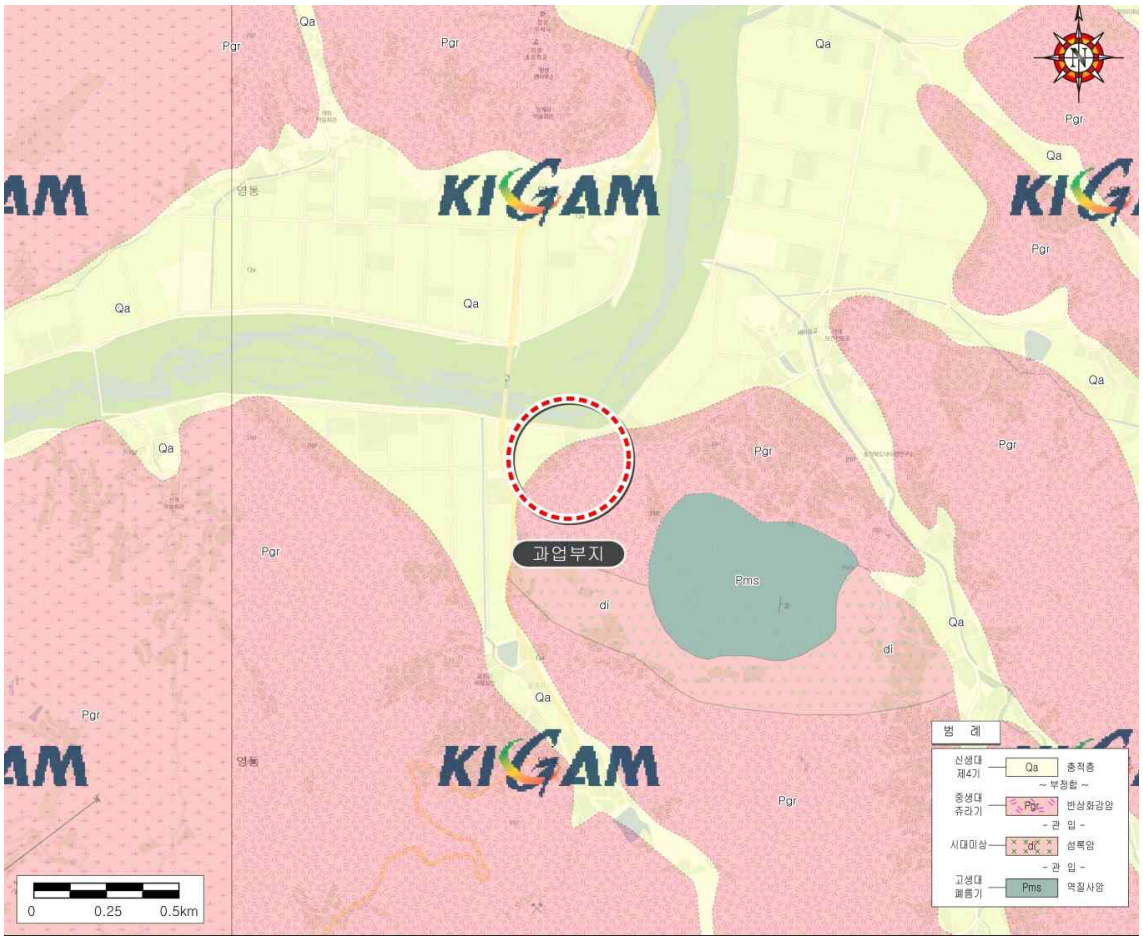


그림 3.41 조사지역 지질도

(2) 시추조사

(가) 시추조사 개요

- 시험시공 부지의 지층별 구성상태, 연약지반의 존재 유·무, 지하수위 분포 현황, 기반암의 종류 및 분포 심도, 균열상태, 파쇄대 등을 파악하기 위하여 시추조사를 수행하였다.

- 시추조사는 시험시공 비탈면 최상단에서 수행되었으며 비탈면 시추조사 기준에 의거하여 계획고 하부 2.0m이상 조사를 수행하였다.

- 시추조사와 병행하여 지층의 상대밀도(Relative Density) 및 연경도(Consistency)와 토층의 구성성분을 파악하기 위하여 1.0m 간격으로 표준관입시험(KS F 2307 기준)을 수행하였다

- 시추조사 위치 및 단면 현황은 표 3.36 및 그림 3.42와 같다.

표 3.36 조사 위치 및 심도

시추공번	좌 표		시추심도 (m)
	위도	경도	
BH-1	36° 18′ 55.43″	127° 45′ 42.84″	16.0

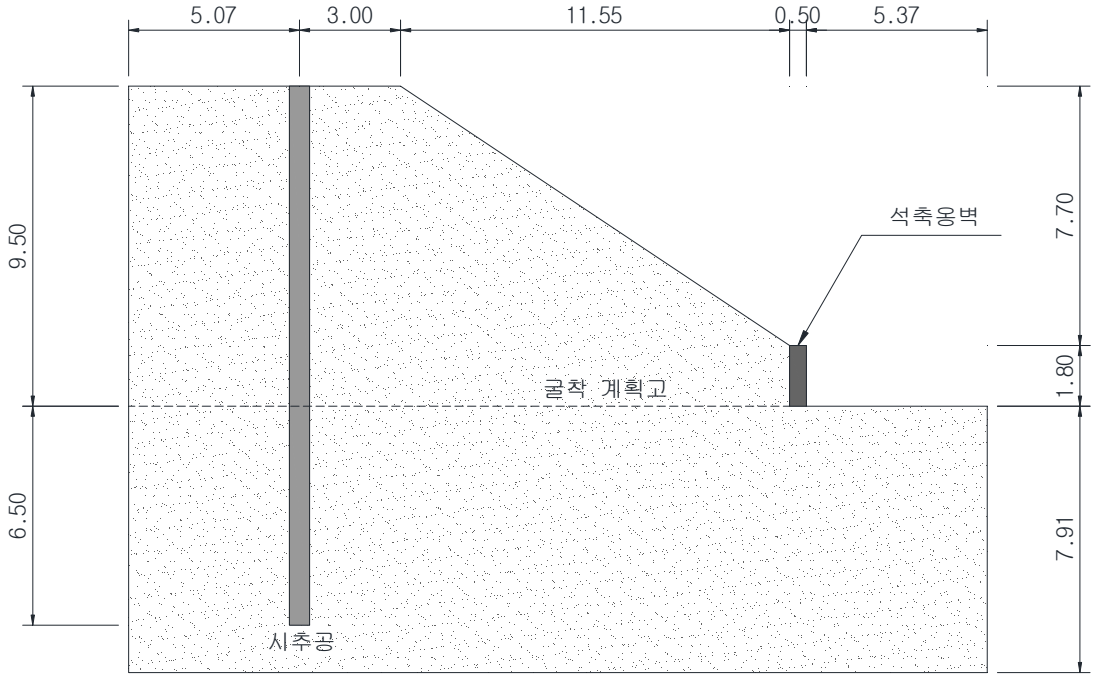


그림 3.42 시추조사 횡단면도

(나) 시추조사 결과

• 시추조사 결과는 다음 표 3.37~3.40과 같다.

표 3.37 시추조사 결과

공 번	붕적층 (m)	풍화토 (m)	풍화암 (m)	굴진심도 (m)	SPT (회)
BH-1	0.0~3.5	3.5~12.0	12.0~16.0	16.0	16

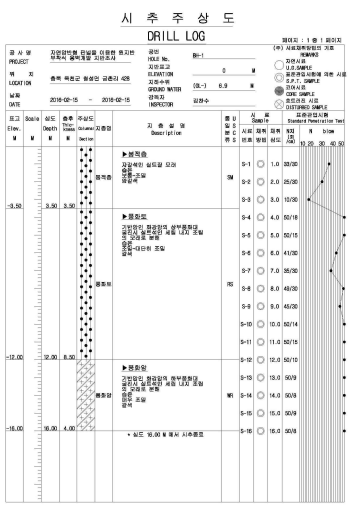
표 3.38 지층 분포 현황

지 층	출 현 심 도 (GL.(-), m)	두 께 (m)	구 성 토 질	N 치
붕 적 층	0.0	3.5	• 자갈섞인 실트질 모래	10/30~33/30
풍 화 토	3.5	8.5	• 화강암의 상부 풍화대 • 실트질 모래	35/30~50/14
풍 화 암	12.0	4.0	• 화강암의 하부풍화대 • SPT 타격시 실트,모래로 분해	50/10~50/8

표 3.39 지하수위 측정 결과

공 번	지 하 수 위		분포지층
	GL.-, m	EL.+, m	
BH-1	6.9	-	풍화토

표 3.40 표준관입시험 결과

공 번	타격심도 (GL.-, m)				
	타격횟수 (회/cm)				
BH-1	1.0	2.0	3.0	4.0	
	33/30	25/30	10/30	50/18	
	5.0	6.0	7.0	8.0	
	50/15	41/30	35/30	49/30	
	9.0	10.0	11.0	12.0	
	45/30	50/14	50/15	50/10	
	13.0	14.0	15.0	16.0	
	50/9	50/8	50/9	50/8	

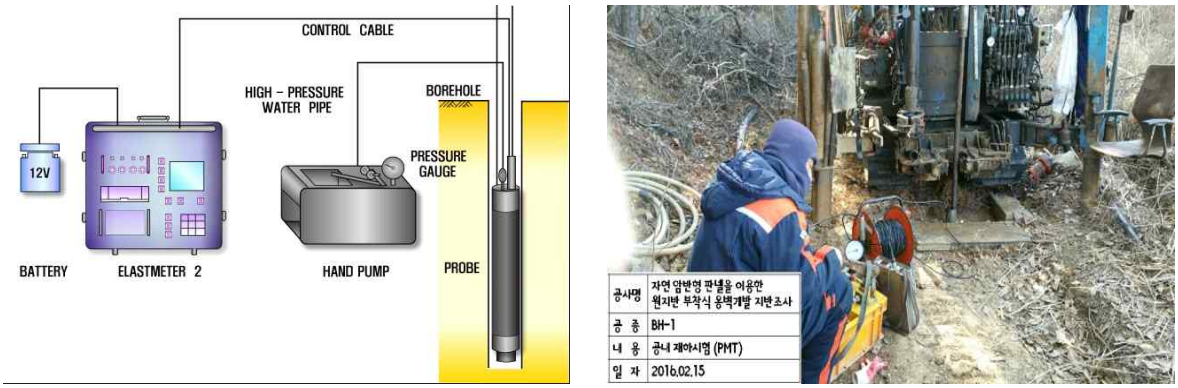
(3) 공내재하시험

- 기반암의 변형특성(변형계수 및 탄성계수)을 파악하기 위하여 풍화암을 대상으로 공내재하시험을 시행하였다.

- 공내재하시험은 시험 심도까지 Sonde를 삽입한 후 가압장치로 고무튜브를 팽창시켜 단계별로 응력을 증가시키는 시험으로 대상 지반의 변형특성 및 수평방향 변형계수와 지반반력계수를 산정할 수 있다.

- 본 연구에서는 계획고 하부에 존재하는 풍화암의 변형특성을 파악하기 위하여 공내재하시험을 수행하였으며 대형재하시험에 대한 안정성 검토 및 수치해석 시 기초자료로 활용하였다.

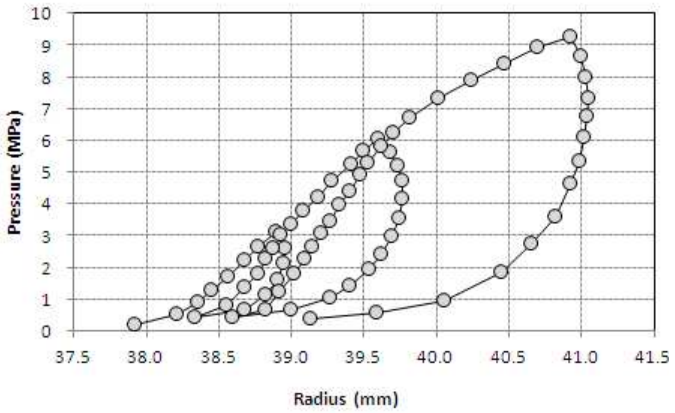
- 공내재하시험 결과는 다음 그림 3.43 및 표 3.41과 같다.



(가) 공내재하시험 모식도 (나) 공내 재하시험 전경

그림 3.43 공내재하시험

표 3.41 공내재하시험 결과

구 분	시험 결과	
공 번	BH-1	
시험심도 GL.(-),m	13.0	
대상 지층	풍화암	
N값	50/9	
변형계수 (MPa)	203.0	
탄성계수 (MPa)	342.0	

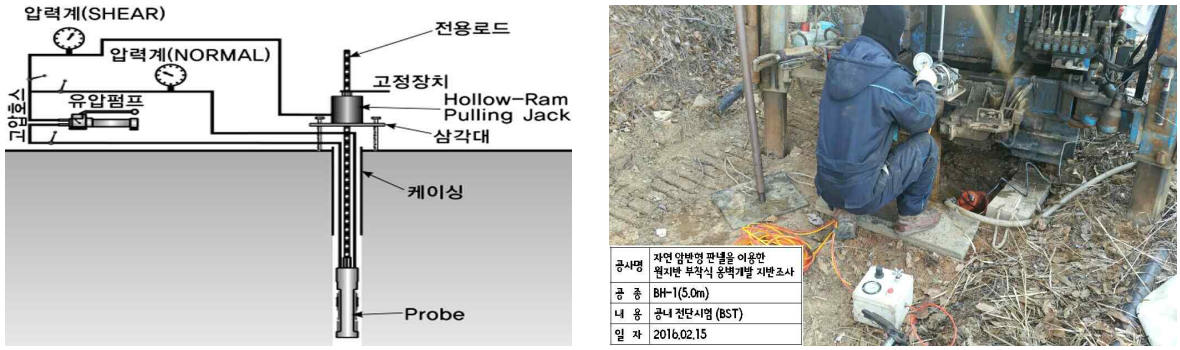
(4) 공내전단시험

- 각 지층별 점착력과 내부마찰각을 측정하기 위하여 풍화대를 대상으로 공내전단시험을 시행하였다.

- 공내전단시험은 시추공 내 대상구간에 Shear Head를 삽입하여 공벽에 부착시킨 후 유압잭을 이용하여 Shear Head를 인발하며 파괴 시 전단력을 측정하는 시험으로 대상 지반의 점착력과 내부마찰각을 산정할 수 있다.

- 본 연구에서는 시험시공 구간의 풍화토 및 풍화암의 강도정수를 파악하기 위하여 공내재하시험을 수행하였으며 대형재하시험에 대한 안정성 검토 및 수치해석 시 기초자료로 활용하였다.

- 공내전단시험 결과는 다음 표 3.42 및 그림 3.45와 같다.

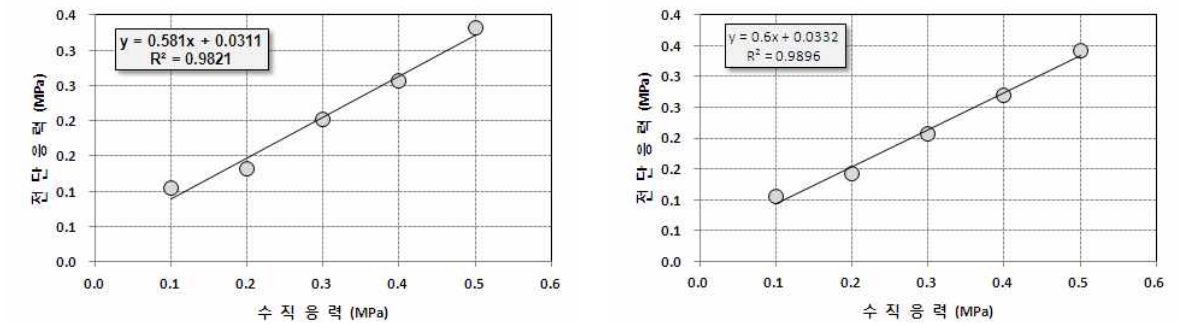


(1) 공내전단시험 모식도 (2) 공내전단시험 전경

그림 3.44 공내전단시험

표 3.42 공내전단시험 결과

공 번	시험구간 GL.(-),m	대상지층	점착력 (kPa)	내부마찰각 (。)
BH-1	5.0	풍화토	31	30.16
	12.0	풍화암	34	30.95



(1) 풍화토 시험결과 (2) 풍화암 시험결과

그림 3.45 공내전단시험 결과

(5) 실내 토성시험

- 본 조사지역에 분포되어 있는 지층의 토질종류와 기본특성 등을 파악하여 설계에 필요한 지층별 자료 제공하기 위하여 실내 토성시험을 수행하였다.

- 실내 토성시험은 과업구간 내 존재하는 풍화토에 대하여 수행되었으며 그 결과는 다음 그림 3.46 및 표 3.43과 같다.

(1) 함수비 시험

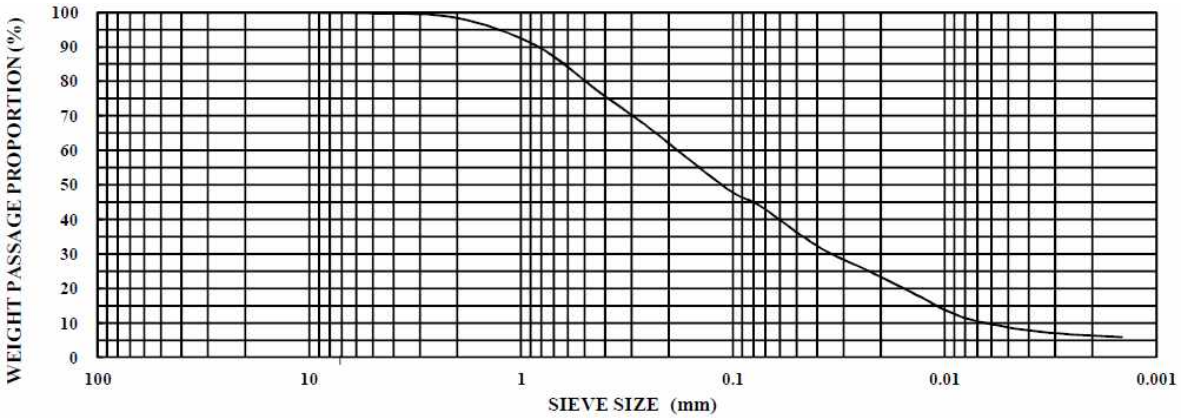
(2) 액성한계시험

(3) 입도분석

그림 3.46 실내시험 전경

표 3.43 실내시험 결과

공 번	시험심도 (GL.-m)	Wn (%)	비중 (Gs)	Atterberg Limits (%)		Grain Size Distribution %, Finer than			통 일 분 류
				LL	PI	mm 4.75	mm 0.074	mm 0.005	
BH-1	13.0	14.8	2.657	N.P	N.P	99.6	44.1	8.9	SM



(6) 지반물성 산정

- 현장 및 실내시험 결과를 토대로 시험시공 비탈면의 안정성 검토 및 수치해석적 검증에 필요한 지반 물성치를 산정하였다.

- 지반 물성치 산정 시 시험시공 현장에서 수행된 1공의 시추조사와 해당 공에서 수행된 현장시험 및 채취된 시료에 대한 실내실험만으로는 대상 부지 전체를 대표하는 지반 물성치를 산정하기에는 셈플 및 시험횟수가 다소 부족하다.

- 따라서 본 연구에서는 경험식 및 기존 설계자료 등을 추가적으로 검토하여 지반 물성치 산정에 반영하였다.

- 지반 물성치 산정결과는 다음 표 3.44와 같다.

표 3.44 지반 물성치 산정결과

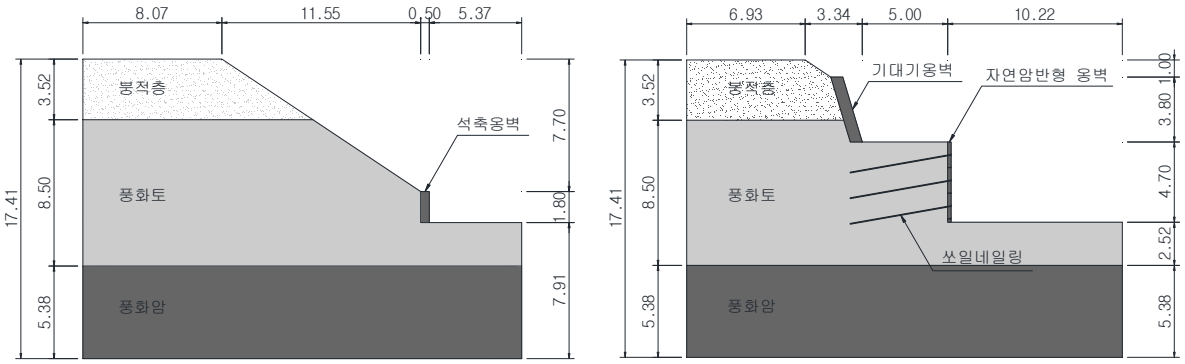
구 분	붕적층	풍화토	풍화암
N치	22/30	50/18	50/10
단위중량 (kN/㎥)	18.0	19.0	20.0
점착력 (kPa)	10.0	10.0	30.0
내부마찰각 (°)	30.0	30.0	32.0
변형계수 (MPa)	15.4	50.5	200.0
포아송비 (υ)	0.35	0.35	0.32

다. 예비해석

(1) 예비해석 개요

- 지반조사를 통하여 산정된 설계 지반정수의 적성성 및 시험시공 비탈면의 시공중, 완공 후의 안정성, 대형재하시험의 재하하중 결정을 위하여 예비해석을 수행하였다.

- 예비해석은 비탈면 한계평형해석 프로그램인 Talren 97을 이용하였으며 해석단면은 다음 그림 3.47과 같다.



(1) 시험시공 전 원지반 (2) 시험시공 후 옹벽비탈면

그림 3.47 해석단면

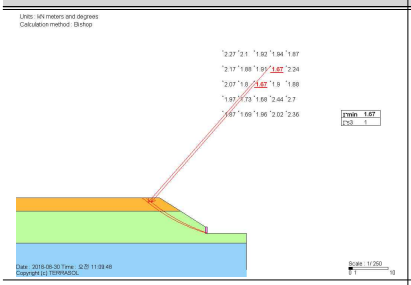
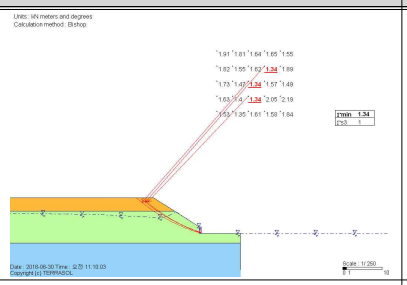
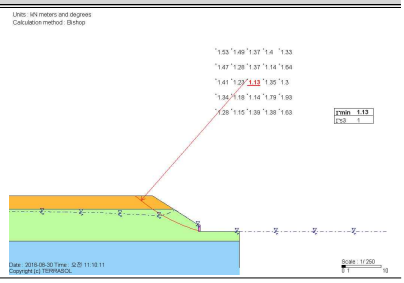
(2) 원지반 비탈면 안정성 검토

- 지반조사결과를 토대로 산정된 지반 물성치의 적정성을 확인하기 위하여 원지반 비탈면에 대한 안정성 검토를 수행하였다.

- 검토결과 건기시, 우기시, 지진시 모두 기준안전율을 만족하여 안정성을 확보하는 것으로 평가되었으며 지반조사결과 산정된 지반 물성치는 적절한 것으로 판단된다.

- 안정성 검토결과는 다음 표 3.45와 같다.

표 3.45 원지반 안정성 검토결과

건기시	우기시	지진시
		
F.S = 1.67 〉 1.50 ∴ O.K	F.S = 1.34 〉 1.30 ∴ O.K	F.S = 1.13 〉 1.10 ∴ O.K

(3) 시험시공 비탈면 안정성 검토

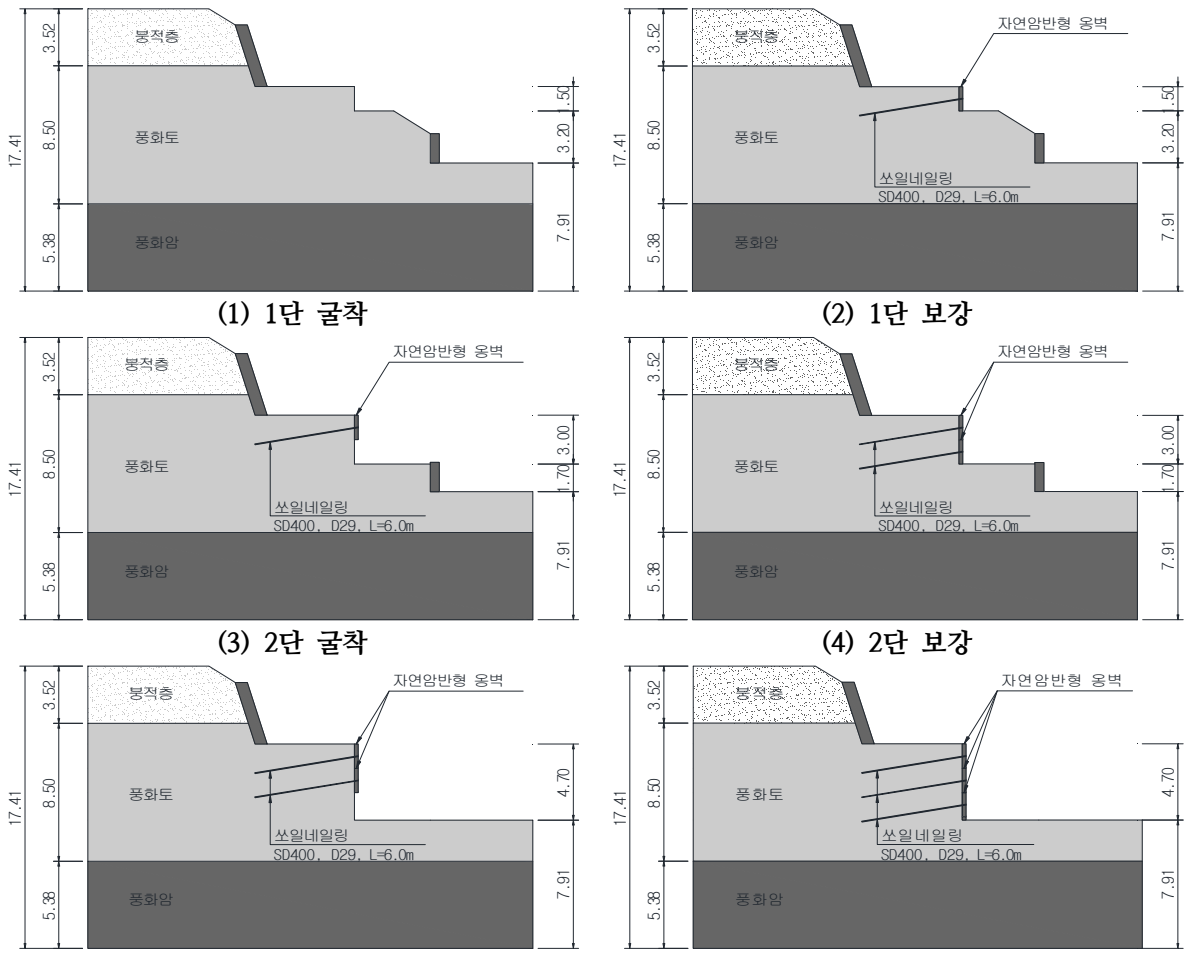
(가) 안정성 검토 개요

- 시험시공 비탈면에 대한 시공 중 및 시공 완료 후 안정성을 검토하기 위하여 예비해석을 수행하였다.

- 시험시공 비탈면에 대한 안정성 검토는 시공단계를 총 6단계로 나누어 수행되었으며 단계별 시공 내용 및 대표단면은 다음 표 3.46 및 그림 3.48과 같다.

표 3.46 단계별 시공 내용

구 분	시공 내용	구 분	시공 내용
Case-1	• 1단 굴착 (1.5m)	Case-4	• 2단 쏘일네일링 설치
Case-2	• 1단 쏘일네일링 설치	Case-5	• 3단 굴착 (1.7m 추가굴착 총 4.7m)
Case-3	• 2단 굴착 (1.5m 추가굴착 총 3.0m)	Case-6	• 3단 쏘일네일링 설치 및 시공 완료



(1) 1단 굴착 (2) 1단 보강

(3) 2단 굴착 (4) 2단 보강

(5) 3단 굴착 (6) 3단보강 및 시공완료

그림 3.48 시험시공 비탈면 대표단면

(나) 안정성 검토결과

- 시공중 및 시공 완료후에 대한 안정성 검토결과 모두 기준안전율을 만족하여 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다.

- 안정성 검토결과를 정리하면 다음 표 3.47 및 3.48과 같다.

표 3.47 시험시공 비탈면 안정성 검토결과 (계속)

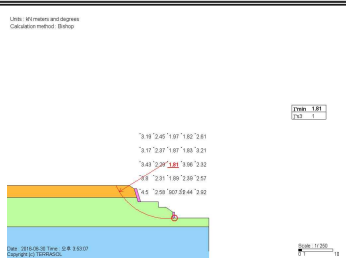
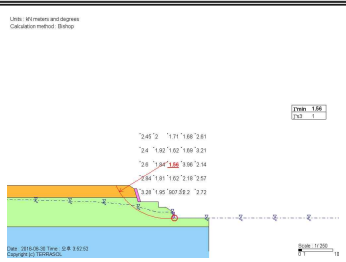
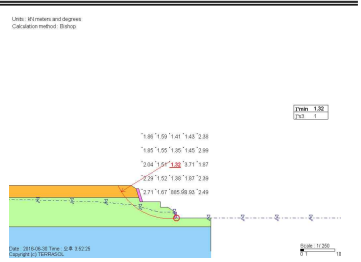
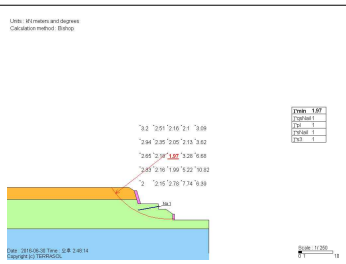
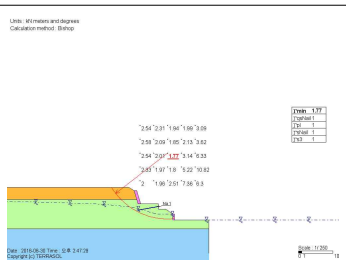
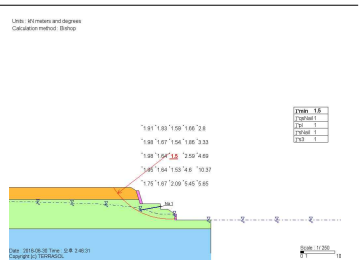
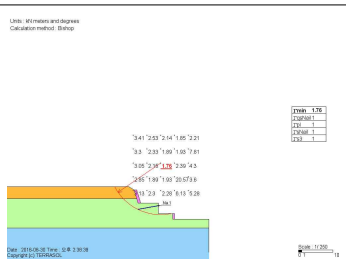
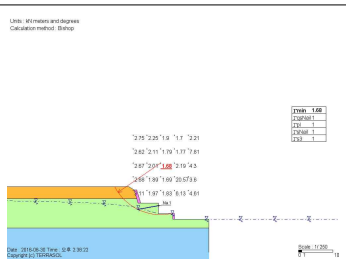
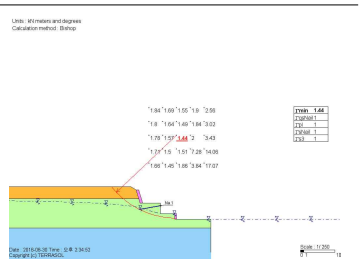
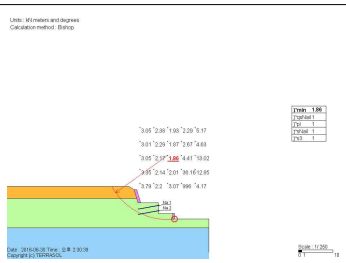
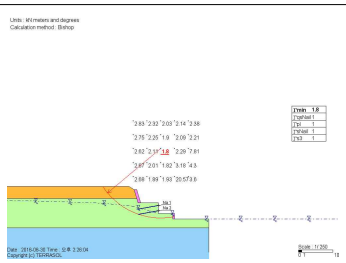
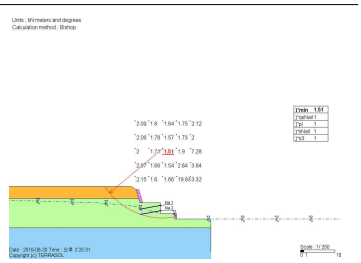
구 분	건기시	우기시	지진시
Case-1			
	F.S = 1.81 〉 1.50 ∴ O.K	F.S = 1.56 〉 1.30 ∴ O.K	F.S = 1.32 〉 1.10 ∴ O.K
Case-2			
	F.S = 1.97 〉 1.50 ∴ O.K	F.S = 1.77 〉 1.30 ∴ O.K	F.S = 1.50 〉 1.10 ∴ O.K
Case-3			
	F.S = 1.76 〉 1.50 ∴ O.K	F.S = 1.68 〉 1.30 ∴ O.K	F.S = 1.44 〉 1.10 ∴ O.K
Case-4			
	F.S = 1.86 〉 1.50 ∴ O.K	F.S = 1.80 〉 1.30 ∴ O.K	F.S = 1.51 〉 1.10 ∴ O.K

표 3.47 시험시공 비탈면 안정성 검토결과

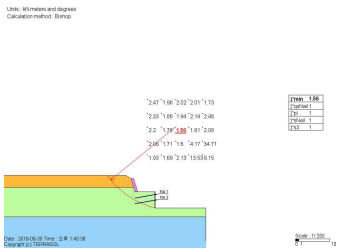
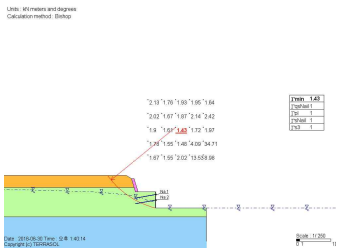
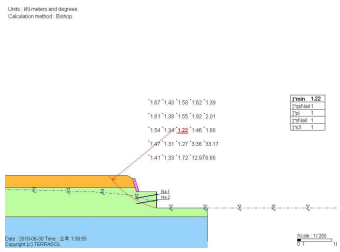
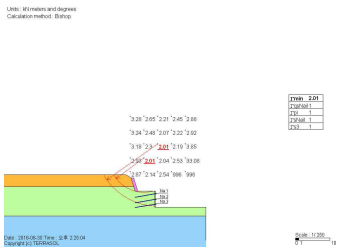
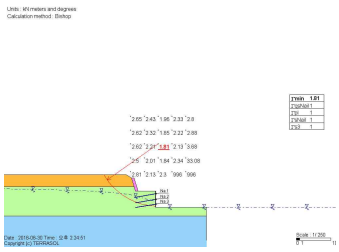
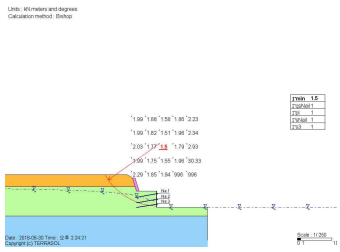
구 분	건기시	우기시	지진시
Case-5			
	F.S = 1.56 〉 1.50 ∴ O.K	F.S = 1.43 〉 1.30 ∴ O.K	F.S = 1.22 〉 1.10 ∴ O.K
Case-6			
	F.S = 2.01 〉 1.50 ∴ O.K	F.S = 1.81 〉 1.30 ∴ O.K	F.S = 1.50〉 1.10 ∴ O.K

표 3.48 안정성 검토결과 요약

구 분	해석조건	검토결과	기준안전율	평가결과
Case-1	건기시	1.81	1.50	O.K
	우기시	1.56	1.30	O.K
	지진시	1.32	1.10	O.K
Case-2	건기시	1.97	1.50	O.K
	우기시	1.77	1.30	O.K
	지진시	1.50	1.10	O.K
Case-3	건기시	1.76	1.50	O.K
	우기시	1.68	1.30	O.K
	지진시	1.44	1.10	O.K
Case-4	건기시	1.86	1.50	O.K
	우기시	1.80	1.30	O.K
	지진시	1.51	1.10	O.K
Case-5	건기시	1.56	1.50	O.K
	우기시	1.43	1.30	O.K
	지진시	1.22	1.10	O.K
Case-6	건기시	2.01	1.50	O.K
	우기시	1.81	1.30	O.K
	지진시	1.50	1.10	O.K

라. 시험시공

(1) 시험시공 개요

- 개선된 자연암반형 패널과 시공방법에 대한 현장 적용성을 평가하기 위하여 자연암반형 패널의 시험시공을 수행하였다.

- 시험시공은 가로 12.0m(자연암반형 패널 8EA) 세로 4.7m(자연암반형 패널 3단)의 규모로 시공되었으며 대형재하시험을 위하여 옹벽 상부에 폭 5.0m의 소단을 조성하였다.

- 대형재하시험을 위한 소단 배후에는 기대기 옹벽을 시공하여 대상 지역의 용지경계를 확보하였다.

- 또한 대형재하시험을 위한 소단에는 반력앵커(15.2mm, 6연선, L=18.0m) 8공을 시공하여 재하시험 시 반력앵커로 사용할 수 있도록 하였다.

- 시험시공은 충청북도 옥천군 청성면에 위치한 콘크리트 공장 배후비탈면에서 수행되었으며 시험시공 계획도는 다음 그림 3.49와 같다.

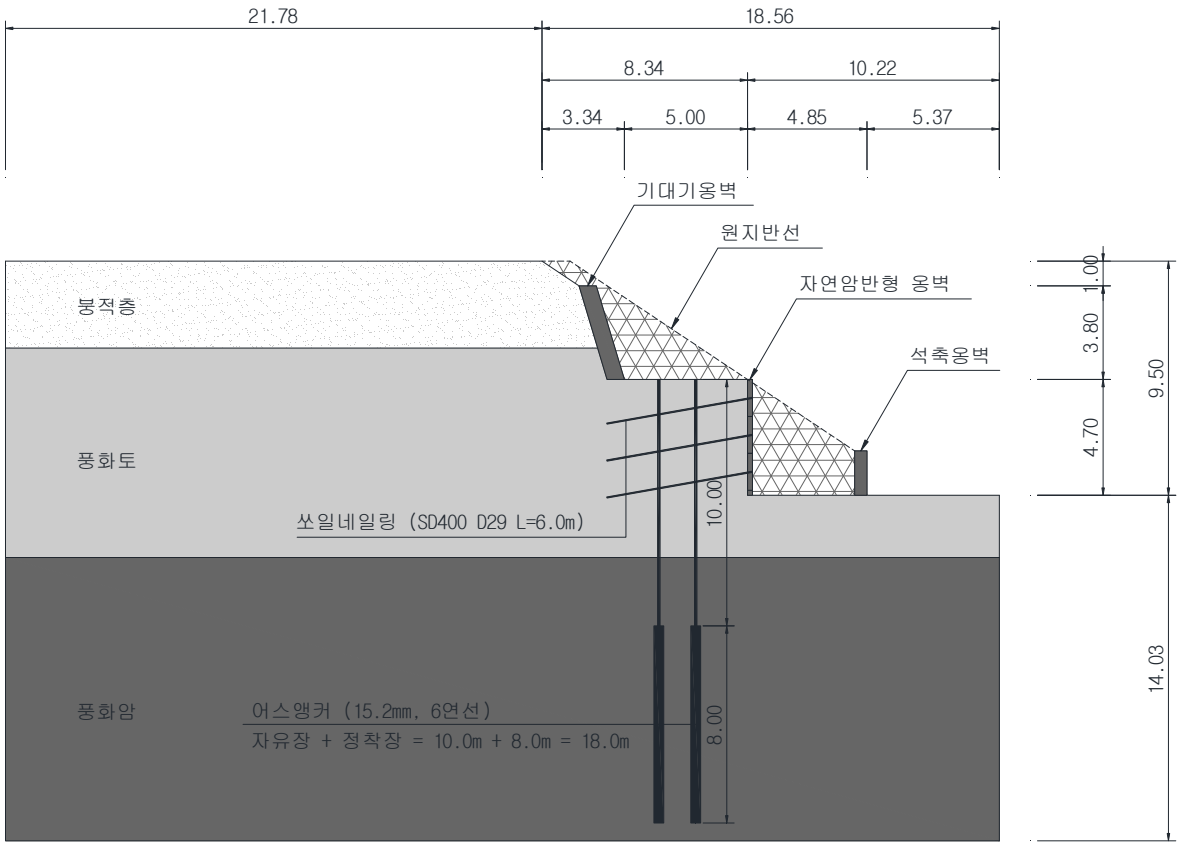


그림 3.49 시험시공 비탈면

(2) 시험시공 순서

- 시험시공은 패널 1단 단위로 완전한 Top-Down 방식으로 시공되었으며 시공순서는 다음 표 3.49 및 그림 3.50과 같다.

표 3.49 시험시공 순서

시공단계	수행 내용	비 고
1단계	사전준비	• 주변정리 및 굴착라인 측량, 필요자재 준비
2단계	1단 굴착	• 1.5m 수직굴착
3단계	쏘일네일링 천공	• 105mm, 6.0m 8공
4단계	쏘일네일링 설치 및 그라우팅	• SD400, D29, 6.0m, 혼화재 적용 1일 양생
5단계	1단 옹벽 설치	• 1,500mm×1,500mm, 8EA
6단계	배면 몰탈채움	• 1 : 3 몰탈, 1일 양생
7단계	2단 굴착	• 1.5m 수직굴착
8단계	쏘일네일링 천공	• 105mm, 6.0m 8공
9단계	쏘일네일링 설치 및 그라우팅	• SD400, D29, 6.0m, 혼화재 적용 1일 양생
10단계	2단 옹벽 설치	• 1,500mm×1,500mm, 8EA
11단계	배면 몰탈채움	• 1 : 3 몰탈, 1일 양생
12단계	3단 굴착	• 1.7m 수직굴착
13단계	기초콘크리트 타설	• 레미콘 25-24-15, H=200mm
14단계	쏘일네일링 천공	• 105mm, 6.0m 8공
15단계	쏘일네일링 설치 및 그라우팅	• SD400, D29, 6.0m, 혼화재 적용 1일 양생
16단계	3단 옹벽 설치	• 1,500mm×1,500mm, 8EA
17단계	배면 몰탈채움	• 1 : 3 몰탈, 1일 양생

(1) 주변정리 및 상부 소단 조성

(2) 보강재 조립

(3) 1단 굴착

(4) 1단 쏘일네일링 천공

(5) 쏘일네일링 설치

(6) 쏘일네일링 그라우팅 및 양생

(7) 배수재 설치

(8) 1단 옹벽 설치

그림 3.50 시험시공 순서 (계속)

(9) 패널 보호 및 몰탈채움 준비

(10) 몰탈 뒤채움 및 양생

(11) 2단 굴착

(12) 2단 쏘일네일링 천공

(13) 쏘일네일링 설치 및 그라우팅

(14) 2단 배수재 겹이음

(15) 2단 패널 설치

(16) 패널 보호 및 몰탈채움 준비

그림 3.50 시험시공 순서 (계속)

(17) 2단 몰탈 뒤채움 및 양생

(18) 3단 굴착

(19) 3단 쏘일네일링 천공

(20) 3단 쏘일네일링 설치 및 그라우팅

(21) 기초콘크리트 타설 및 유공관 설치

(22) 3단 배수재 겹이음

(23) 3단 패널 설치

(24) 3단 몰탈 뒤채움 및 시공 완료

그림 3.50 시험시공 순서

(3) 시험시공 결과

(가) 임시기초의 적용성

- 1차년도 시험시공 시 문제가 되었던 패널 한장(1.2~1.5m)단위의 완전한 Top-Down 시공을 위하여 2차년도 시험시공에서는 합판 타격에 의한 임시기초 공법을 적용하였다.

- 임시기초의 개념은 패널 설치 후 쏘일네일링 체결 및 배면 몰탈의 양생이 완료되어 패널을 지지할 수 있을 때 까지 패널의 침하 및 변위를 억제할 수 있도록 하는 임시 조치이다.

- 임시기초의 효과를 확인하기 위하여 2단 굴착 후 상부 패널에 대한 레벨측량을 통하여 수평을 확인하였으며 오차범위 5.0mm로 패널 높이 대비 0.3%로 변위를 억제할 수 있음을 확인하였다(그림 3.51 (2)).

- 또한 하부 패널 시공 시 4개 패널이 만나는 모서리 부분에서 거의 이격 없이 맞물려 시공이 가능함을 확인할 수 있었으며((그림 3.51 (3)) 2단 패널 설치 후 수평방향으로 시공오차가 거의 없음을 확인할 수 있었다(그림 3.51 (4)).

- 임시기초는 본 연구의 성과지표로 제시된 800kg 이하로 경량화된 패널에 대해서만 적용이 가능할 것으로 판단되며 향후 일반적인 패널(1,000kg 이상)의 임시기초에 대해서도 자체 연구를 수행할 예정이다.

(1) 임시기초 설치

(2) 하부 굴착

(3) 하부패널 설치

(4) 하부 시공 완료

그림 3.51 임시기초 적용성

(나) Top-Down 시공 시 배수처리

- 기존 패널의 경우 수평배수공을 이용한 배수 System을 적용하였으나 지하수의 전면 유출에 따른 경관성 저하문제가 지속적으로 지적되어 왔다.

- 따라서 본 연구에서는 배면 Drain Board를 이용한 유도배수 System을 적용하였으며 Semi-Top-Down 시공 시에는 원활한 배수재 시공이 가능하였다.

- 그러나 Top-Down 시공 시에는 상부 패널 시공이 완료된 상태에서 하부 배수시스템을 연속적으로 시공하여야 하는 문제가 발생하였다.

- 2차 시험시공에서는 상부 패널 시공 및 몰탈 뒤채움 후에도 하부 배수 System과 연결이 가능하도록 겹이음 길이를 확보할 수 있는 시공법을 개발하여 적용하였다.

- 상부 배수재 설치 시 200mm 이상의 겹이음 길이를 확보하고 몰탈 타설 전 현장 발생토를 활용하여 겹이음 길이를 보호함으로써 하부굴착 후 겹이음 길이가 몰탈로부터 분리되어 하부 배수재와 원활히 연결될 수 있도록 조치하였다.

- 겹이음 길이 확보방안을 적용하여 상부 1단 패널 배면으로 부터 3단 하부 기초콘크리트에 설치되는 유공관까지 Drain Board를 끊김 없이 연속적인 배수 System을 확보함으로써 지하수의 전면 유출이 없는 배수 System을 확보하였다.

(1) 겹이음길이 보호

(2) 몰탈 양생 후 겹이음길이 확인

(3) 하부 배수재 겹이음

(4) 유공관 연결

그림 3.52 배수재 시공법

(다) 몰탈 뒤채움의 적용성

- 기존 패널에 적용되었던 배면 밀크 그라우팅의 경우 Semi-Top-Down 시공 시에는 적용성이 우수하였으나 Top-Down 시공 시에는 그라우팅의 양생시간 및 부착강도 문제가 발생하였다.

- 그라우팅의 경우 하부 굴착 시 패널의 변위를 억제할 수 있는 강도를 발현하기 위하여 7일 이상의 양생기간이 필요하게 되며 이는 공기지연으로 이어져 패널옹벽 공법의 효율 및 공사비 증가의 요인이 된다.

- 따라서 2차 시험시공 시에는 유동성이 낮고 양생기간이 짧은 시멘트 몰탈 뒤채움을 적용하였다.

- 1단 시공 시에는 상부에서 주입이 가능하며 2단, 3단의 경우 좌·우측에서 거푸집 설치 후 양방향 주입을 통하여 패널 최상단 까지 가압 주입을 수행하였다.

- 일반적인 몰탈의 경우 1일 압축강도가 15MPa 이상으로 실제 시험시공 중 몰탈 1일 양생 후 하단 굴착을 수행하였으며 2단굴착, 3단굴착 시 상부패널의 변형 또는 파괴가 발생하지 않는 것을 확인하였다.

- 몰탈에 의한 Top-Down 시공 전경은 그림 3.53과 같다.

(1) 1단 상부 주입

(2) 2단이하 측면 주입

(3) 1단 부착 2단 굴착

(4) 2단 부착 3단 굴착

그림 3.53 몰탈 뒤채움의 적용성

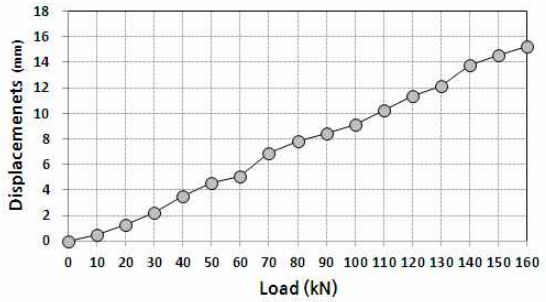
(라) 쏘일네일링 인발시험

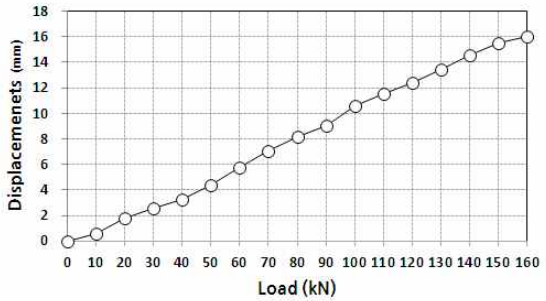
- 시험시공 시 적용된 쏘일네일링의 시공 건전성 확인 및 인발거동 특성 규명을 위한 기초자료 수집을 위하여 현장인발시험을 수행하였다.

- 현장인발시험은 3열 좌측, 3열 우측에서 총 2개소에서 수행되었으며 시험결과는 다음 표 3.50과 같다.

표 3.50 쏘일네일링 인발시험 결과

3열 좌측		3열우측	
하중(kN)	변위량(mm)	하중(kN)	변위량(mm)
10	0.47	10	0.55
20	1.24	20	1.76
30	2.22	30	2.54
40	3.53	40	3.25
50	4.52	50	4.37
60	5.06	60	5.74
70	6.89	70	7.01
80	7.87	80	8.19
90	8.45	90	9.00
100	9.15	100	10.62
110	10.25	110	11.51
120	11.37	120	12.38
130	12.12	130	13.44
140	13.78	140	14.59
150	14.54	150	15.49
160	15.27	160	16.01





- 시험시공에 적용된 쏘일네일링 설계축력(128.48kN)의 125%에 해당하는 160kN 까지 인발시험을 수행한 결과 시험 중 쏘일네일링의 파단 또는 인발은 발생하지 않았으며 최종 재하하중160(kN)까지 곡선의 기울기가 급변하거나 변곡점이 발생하는 현상은 나타나지 않았다.

- 따라서 시공된 쏘일네일링은 보강재로서의 건정성을 확보한 것으로 평가되며 대형 재하시험 시 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

마. 대형 재하시험

(1) 대형 재하시험 개요

- 전면벽체의 강성효과에 대한 연구결과를 토대로 실물크기의 비탈면 구조물에 대한 거동특성을 확인하기 위하여 실규모의 비탈면에 대형재하시험을 실시하고 자연암반형 패널의 거동특성 및 대절토부 적용성에 대한 평가를 수행하였다.

- 대형재하시험에 앞서 하중재하에 대한 안정성을 검토하기 위하여 수치해석을 수행하였으며 수치해석을 통하여 적정 재하하중을 산정하였다.

- 대형 재하시험 시 기본적으로 측정되는 상부 하중 및 재하판 변위와는 별도로 지중경사계, 토압계, 침하타겟, 쏘일네일링 축력계 및 Strain Gauge를 설치하여 하중 재하에 따른 자연암반형 패널 옹벽 System의 거동특성 분석을 수행하였다.

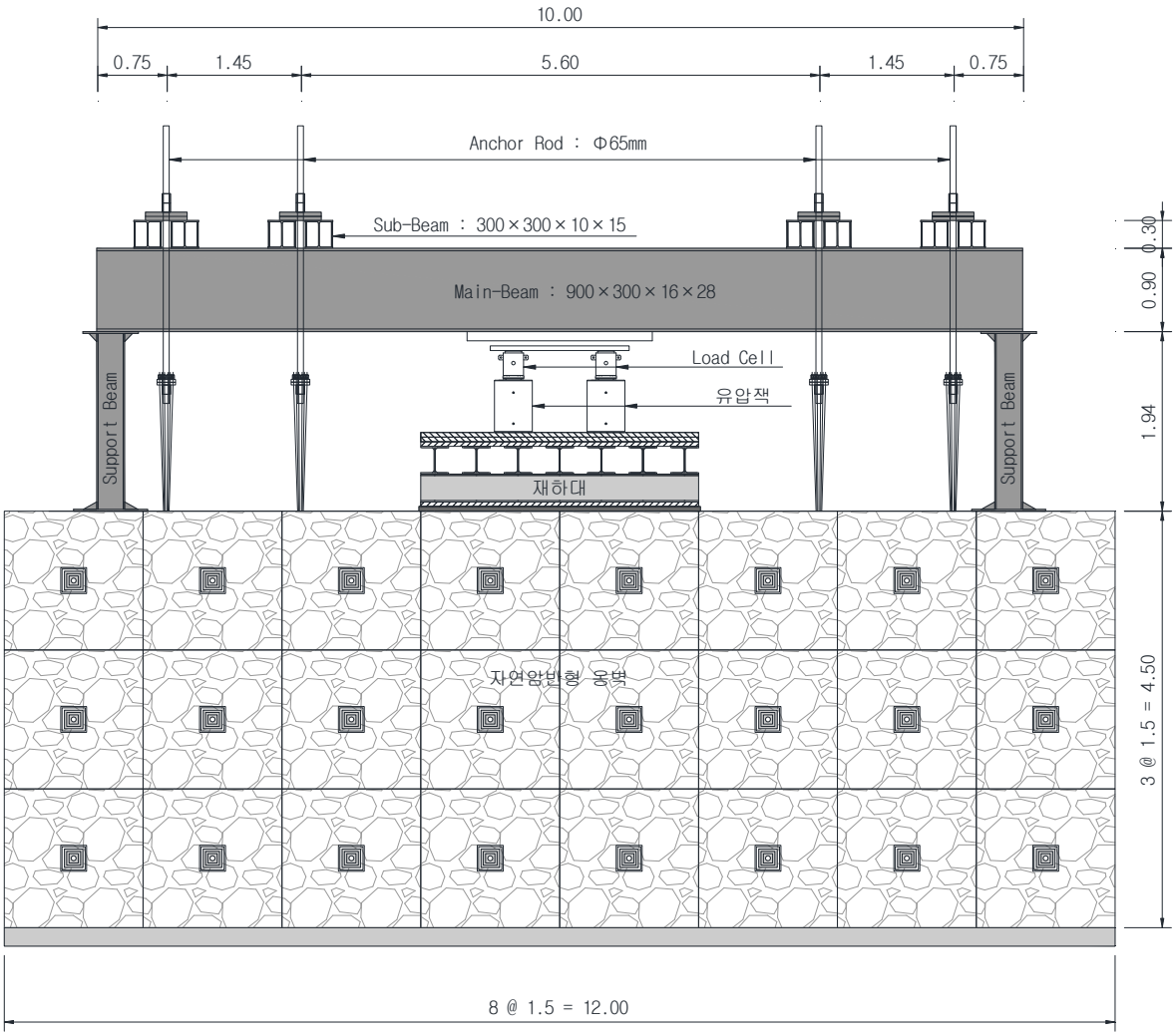


그림 3.54 대형재하시험 개요도

(2) 대형 재하시험을 위한 예비해석

(가) 예비해석 개요

- 옹벽의 거동특성 파악을 위해서는 충분히 큰 하중이 필요하지만 재하시험 중 패널식 옹벽의 과도한 변위 또는 붕괴가 발생할 경우 재하시험 중 안전사고로 이어질 수 있으며 재하시험 배후비탈면의 붕괴로 인하여 시험부지 전체 비탈면의 안정성에 영향을 미칠 수 있다.

- 따라서, 한계평형해석을 통하여 적정 하중재하에 따른 시험시공 비탈면은 안정성 평가를 수행하였다.

- 시험시공 비탈면에 대하여 재하시험이 계획된 위치에 500kN 단위로 하중을 증가시켜 가며 해석을 수행하였으며 비탈면이 붕괴되지 않는 최대 하중을 재하하기 위하여 기준안전율을 1.0으로 선정하였다.

- 일반적인 비탈면의 안정해석은 건기시, 우기시, 지진시의 3가지 Case에 대해서 검토되어야 하지만 재하시험 하중의 경우 일시적인 하중으로 비탈면의 장기적 안정성에 미치는 영향은 미미하므로 건기시에 대해서만 검토를 수행하였다.

- 수치해석시 적용된 물성치는 해당 부지의 지반조사 시 수행된 현장 및 실내시험 결과를 토대로 산정된 지반 물성치를 적용하였으며 해석단면은 다음 그림 3.55와 같다.

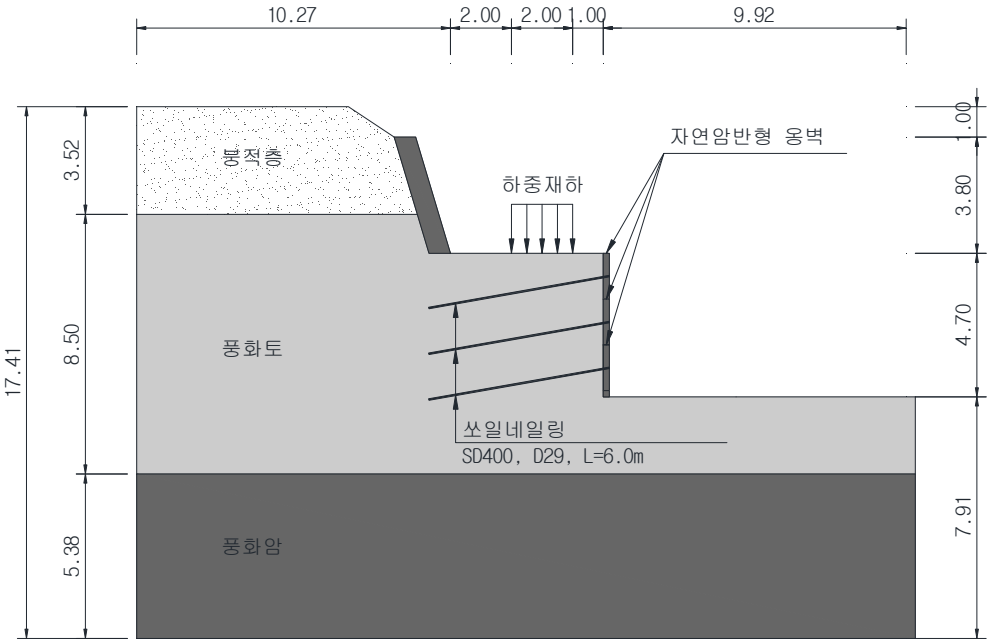


그림 3.55 수치해석 대표단면

(나) 예비해석 결과

• 예비해석 결과는 다음 표 3.51 및 3.52와 같다.

표 3.51 예비해석 결과 (1)

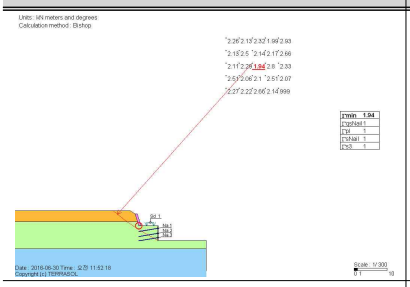
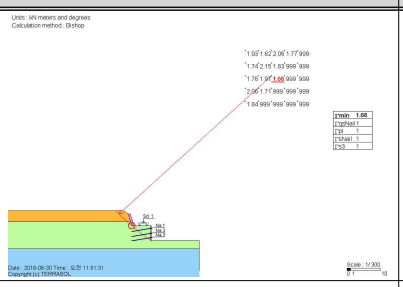
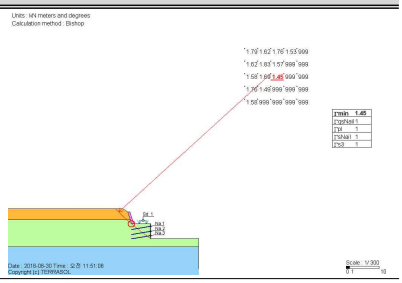
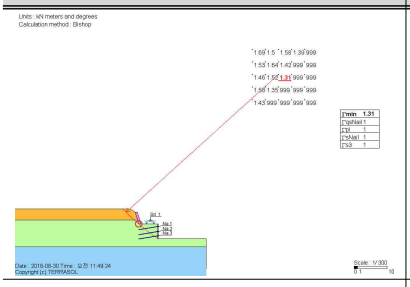
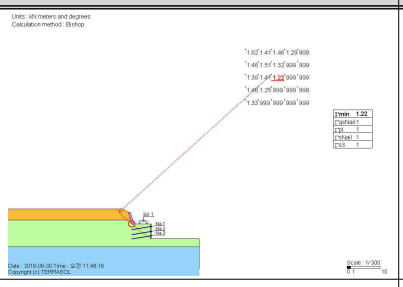
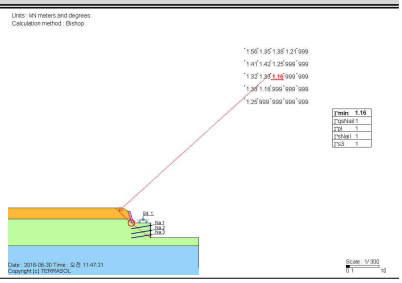
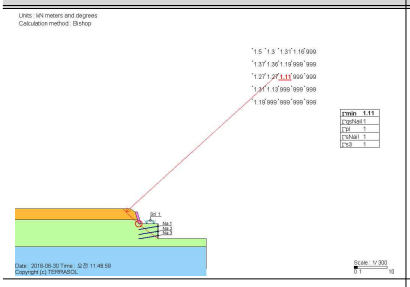
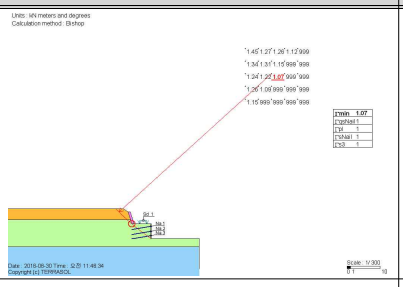
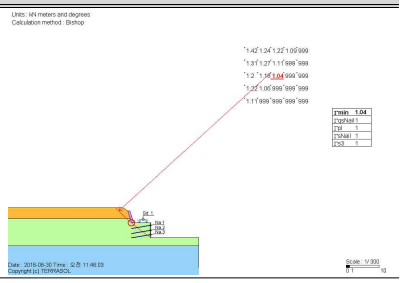
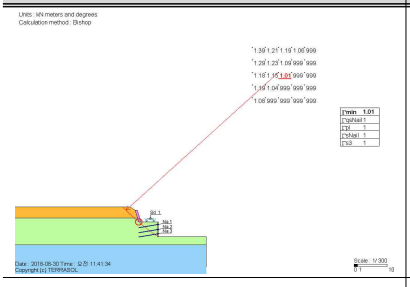
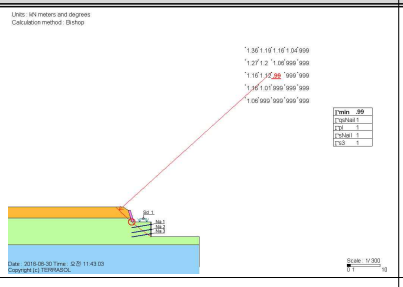
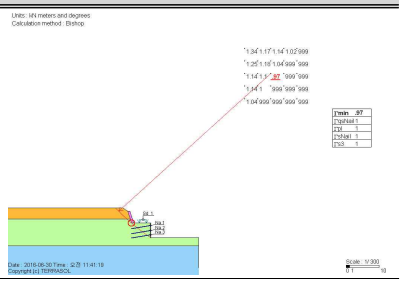
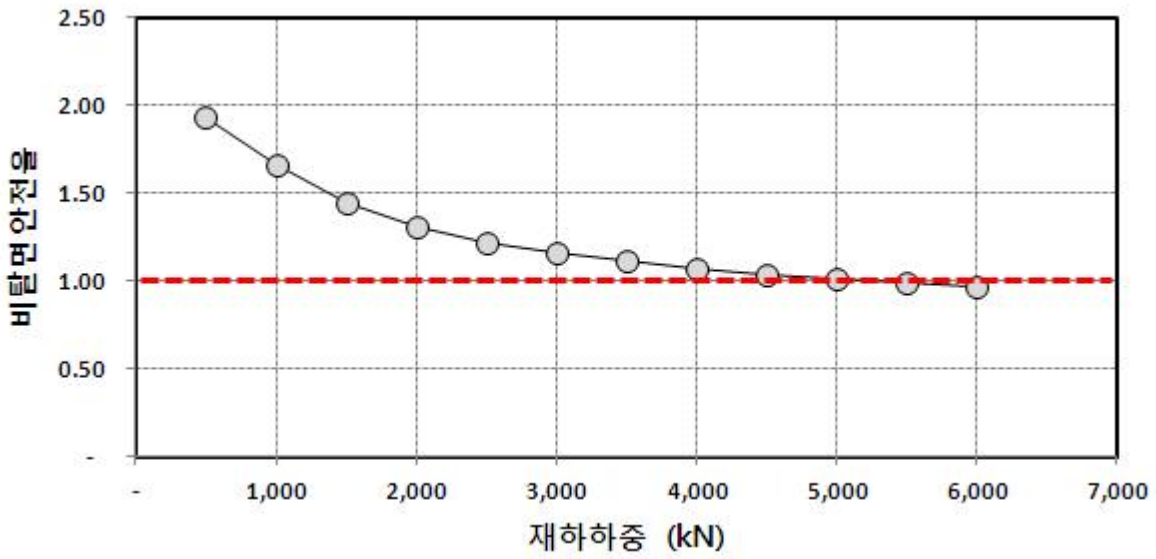
재하하중 : 500kN	재하하중 : 1,000kN	재하하중 : 1,500kN
		
F.S = 1.94 〉 1.00 ∴ O.K	F.S = 1.66 〉 1.00 ∴ O.K	F.S = 1.45 〉 1.00 ∴ O.K
재하하중 : 2,000kN	**재하하중 : 2,500kN**	**재하하중 : 3,000kN**
		
F.S = 1.31 〉 1.00 ∴ O.K	F.S = 1.22 〉 1.00 ∴ O.K	F.S = 1.16 〉 1.00 ∴ O.K
재하하중 : 3,500kN	**재하하중 : 4,000kN**	**재하하중 : 4,500kN**
		
F.S = 1.11 〉 1.00 ∴ O.K	F.S = 1.07 〉 1.00 ∴ O.K	F.S = 1.04 〉 1.00 ∴ O.K
재하하중 : 5,000kN	**재하하중 : 5,500kN**	**재하하중 : 6,000kN**
		
F.S = 1.01 〉 1.00 ∴ O.K	F.S = 0.99 〈 1.00 ∴ N.G	F.S = 0.97 〈 1.00 ∴ N.G

표 3.52 예비해석 결과 (2)

재하하중	해석결과	평가결과	재하하중	해석결과	평가결과
500kN	1.94	O.K	3,500kN	1.11	O.K
1,000kN	1.66	O.K	4,000kN	1.07	O.K
1,500kN	1.45	O.K	4,500kN	1.04	O.K
2,000kN	1.31	O.K	5,000kN	1.01	O.K
2,500kN	1.22	O.K	5,500kN	0.99	N.G
3,000kN	1.16	O.K	6,000kN	0.97	N.G



• 대형 재하시험에 대한 예비해석 결과 재하하중 5,000kN에서 안전율 1.01로 최소한의 안정성을 확보하는 것으로 평가되었으며 5,500kN 및 6,000kN에서는 안전율이 각각 0.99 및 0.97로 안정성을 확보하지 못하는 것으로 평가되었다.

• 따라서 재하시험 중 작업자들의 안전확보 및 시험시공 비탈면의 안정성 확보를 위하여 대형재하시험 시 최대하중을 5,000kN으로 결정하였다.

• 예비해석 결과는 수치해석을 위한 기본적인 가정사항 및 대표물성 등의 제한적인 조건 하에서 수행된 결과이므로 재하시험 시 패널식 옹벽에 대한 실시간 계측을 수행하고 비탈면의 안정성에 문제가 발생할 만한 과도한 변위 및 응력이 발생할 경우 즉시 재하시험을 중단할 수 있도록 하였다.

(3) 대형재하시험 계획

(가) 재하하중 및 측정장치

- 본 과업수행을 위해 계획된 최대시험하중은 5,000kN이며, 재하하중의 조달은 5,000kN 용량의 유압잭 2개를 사용하여 하중을 전달하며, 재하하중의 측정은 동일용량의 전자식 하중계 및 Data logger를 이용하여 자동화 계측하는 것으로 계획하였다.

- 재하판의 침하량 측정에는 4개의 LVDT를 계획하였으며 LVDT는 재하판의 정확한 침하량을 측정하기 위하여 재하판 주변에 재하판과 별도로 지지되는 Guide Beam을 설치한 후 재하판에 LVDT를 설치하고 Guide Beam과의 상대변위를 측정하도록 하였다.

- 재하장치의 제원 및 설치 전경은 다음 표 3.53 및 그림 3.56과 같다.

표 3.53 하중 재하장치 및 계측장비 제원

투입 장비	규 격	수 량	비 고
Hyd. Jack & Pump	5,000kN	2 EA	Stroke = 250.0mm
Load-Cell	5,000kN	2 EA	
Data Logger	TDS 301 or TDS-530	1 조	
Automatic Voltage Regulator		1 개	정전압 유지용
LVDT	1/100mm, Storke 100.0mm	4 개	

(1) 유압잭

(2) 하중계 (Load Cell)

(3) 변위계 (LVDT)

(4) Data Logger

그림 3.56 재하시험 계측장비

(나) 재하장치 설치

- 재하장치는 2개의 유압잭에서 재하되는 집중하중을 등분포 하중으로 변환시키는 역할을 하도록 계획되었다.

- 재하장치 하부 지반은 균등재하를 위하여 중장비를 사용하여 최대한 수평을 유지할 수 있도록 다짐을 수행하였으며 재하대 최하부에는 50mm의 탄성 고무판을 설치하여 장비다짐만으로 부족한 수평도에 대한 보정을 할 수 있도록 하였다.

- 재하판은 40mm 두께의 강판을 적용하였으며 유압잭에 의한 집중하중 재하 시 재하판의 휨을 방지하기 위하여 재하판 위에 H-300×300×10×15 강재를 2열로 배치하였다.

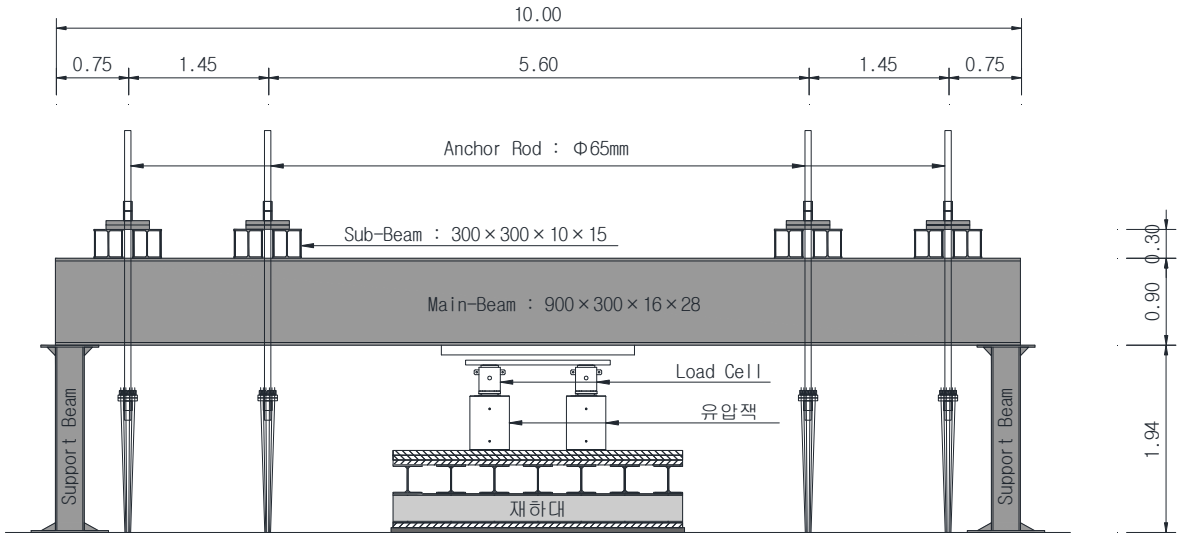
- Main Beam은 유압잭 및 반력앵커에서 가해지는 반력을 견디기 위하여 H-900×350×16×28 강재 3개를 사용하였다

- 시험에 적용된 모든 H-Beam은 Stiffener 보강을 통하여 계획하중보다 큰 하중에 대해서도 견디도록 제작하였으며 부재에 대한 구조계산을 통하여 안정성에 대한 검증을 수행하였다.

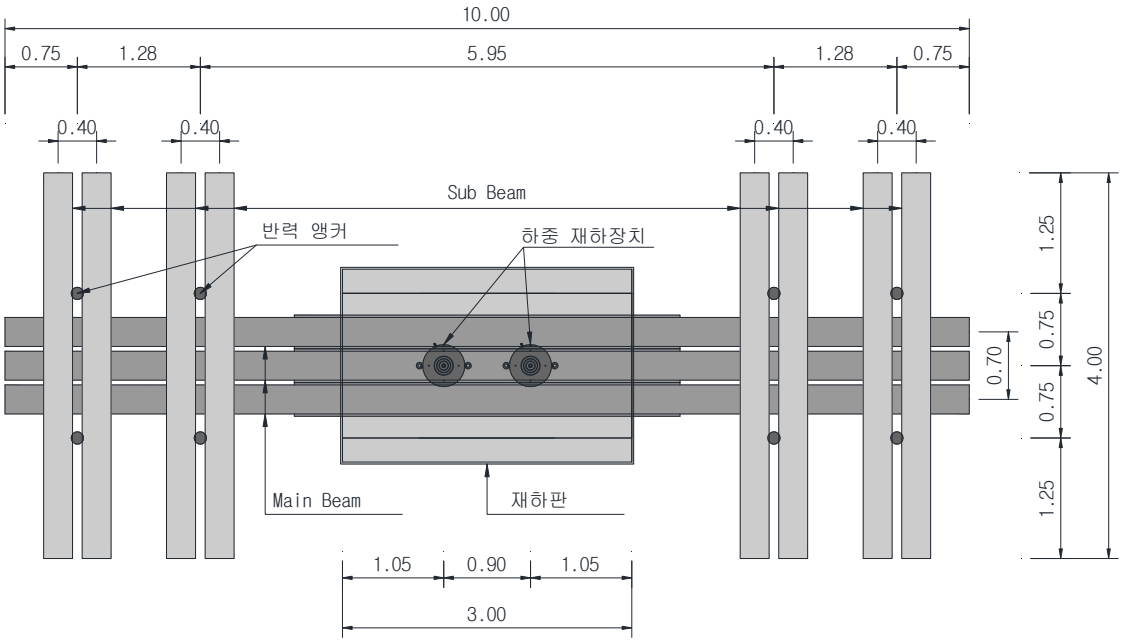
- 재하장치에 적용된 모든 부재의 제원은 다음 표 3.54와 같다.

표 3.54 하중 재하대 제원

투입 장비	규 격	수 량	비 고
Main Beam	900×350×16×28×10,000mm	3 ea	Stiffener보강
Sub Beam	300×300×10×15×4,000mm	8 ea	Stiffener보강
H-Beam	300×300×10×15×3,000mm	5 ea	등분포하중 재하용
H-Beam	300×300×10×15×2,000mm	7 ea	등분포하중 재하용
Anchor Rod	D=65mm, Thread Bar	8 ea	Anchor와 재하대 강결
탄성고무판	1,000×3,000×50t	3 ea	등분포하중 재하용
재하판	1,500×3,000×40t	2 ea	
H-Beam	2,000×3,000×50t	2 ea	등분포하중 재하용



(1) 재하장치 정면도



(2) 재하장치 평면도

그림 3.57 재하장치 설치 계획도

- 재하시험에 적용된 모든 강재는 재사용 강재로 구조계산 시 재사용에 따른 할증계수를 적용하여 구조검토를 수행하였다.

- 또한 재하대 설치 시 정밀측량을 통하여 상·하, 좌·우 대칭을 유지할 수 있도록 하였으며 재하시험 전 예비하중재하를 통하여 편심하중 여부를 판단하고 재하장치 및 재하판에 대한 세부조정을 수행하였다.

(다) 하중재하 및 제하 계획

- 하중은 예비해석 결과를 토대로 5,000kN으로 계획하였으며 1,000kN 단위로 총 5단계의 반복재하를 수행하였다.

- 하중 재하시에는 500kN 단위로 재하를 수행하였으며 각 단계별로 15분씩 하중을 유지하며 침하의 수렴 여부를 확인하였다.

- 하중 제하시에는 1,000kN단위로 제하를 수행하였으며 재하시와 마찬가지로 15분씩 하중을 유지하며 침하의 수렴 여부를 확인하였다.

- 대형재하시험의 하중 재하 및 제하 계획은 다음 표 3.55와 같다.

표 3.55 하중재하 및 제하 계획 (계속)

Step	하중상태	재하하중			하중유지시간	비고
		재하율	Load(kN)	Load(tonf)		
-	Initial	-	-	-	-	
1 Cycle	Loading	50%	500	50	15분간 침하량 측정	
	Loading	100%	1,000	100	15분간 침하량 측정	
	Un-loading	-	-	-	15분간 침하량 측정	
2 Cycle	Re-loading	50%	500	50	15분간 침하량 측정	
	Re-loading	100%	1,00	100	15분간 침하량 측정	
	Loading	150%	1,500	150	15분간 침하량 측정	
	Loading	200%	2,000	200	15분간 침하량 측정	
	Un-loading	100%	1,000	100	15분간 침하량 측정	
	Un-loading	-	-	-	15분간 침하량 측정	
3 Cycle	Re-loading	50%	500.0	50	15분간 침하량 측정	
	Re-loading	100%	1,000.0	100	15분간 침하량 측정	
	Re-loading	150%	1,500.0	150	15분간 침하량 측정	
	Re-loading	200%	2,000.0	200	15분간 침하량 측정	
	Loading	250%	2,500.0	250	15분간 침하량 측정	
	Loading	300%	3,000.0	300	15분간 침하량 측정	
	Un-loading	200%	2,000.0	200	15분간 침하량 측정	
	Un-loading	100%	1,000.0	100	15분간 침하량 측정	
	Un-loading	-	-	-	15분간 침하량 측정	

표 3.55 하중재하 및 제하 계획

Step	하중상태	재하하중			하중유지시간	비고
		재하율	Load(kN)	Load(tonf)		
3 Cycle	Re-loading	50%	500	50	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	100%	1,000	100	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	150%	1,500	150	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	200%	2,000	200	15분간 침하량 측정	·
	Loading	250%	2,500	250	15분간 침하량 측정	·
	Loading	300%	3,000	300	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	200%	2,000	200	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	100%	1,000	100	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	-	-	-	15분간 침하량 측정	·
4 Cycle	Re-loading	50%	500.	50.	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	100%	1,000	100	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	150%	1,500	150	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	200%	2,000	200	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	250%	2,500	250	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	300%	3,000	300	15분간 침하량 측정	·
	Loading	350%	3,500	350	15분간 침하량 측정	·
	Loading	400%	4,000	400	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	300%	3,000	300	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	200%	2,000	200	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	100%	1,000	100	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	-	-	-	15분간 침하량 측정	·
5 Cycle	Re-loading	50%	500	50	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	100%	1,000	100	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	150%	1,500	150	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	200%	2,000	200	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	250%	2,500	250	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	300%	3,000	300	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	350%	3,500	350	15분간 침하량 측정	·
	Re-loading	400%	4,000	400	15분간 침하량 측정	·
	Loading	450%	4,500	450	15분간 침하량 측정	·
	Loading	500%	5,000	500	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	400%	4,000	400	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	300%	3,000	300	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	200%	2,000	200	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	100%	1,000	100	15분간 침하량 측정	·
	Un-loading	-	-	-	15분간 침하량 측정	·

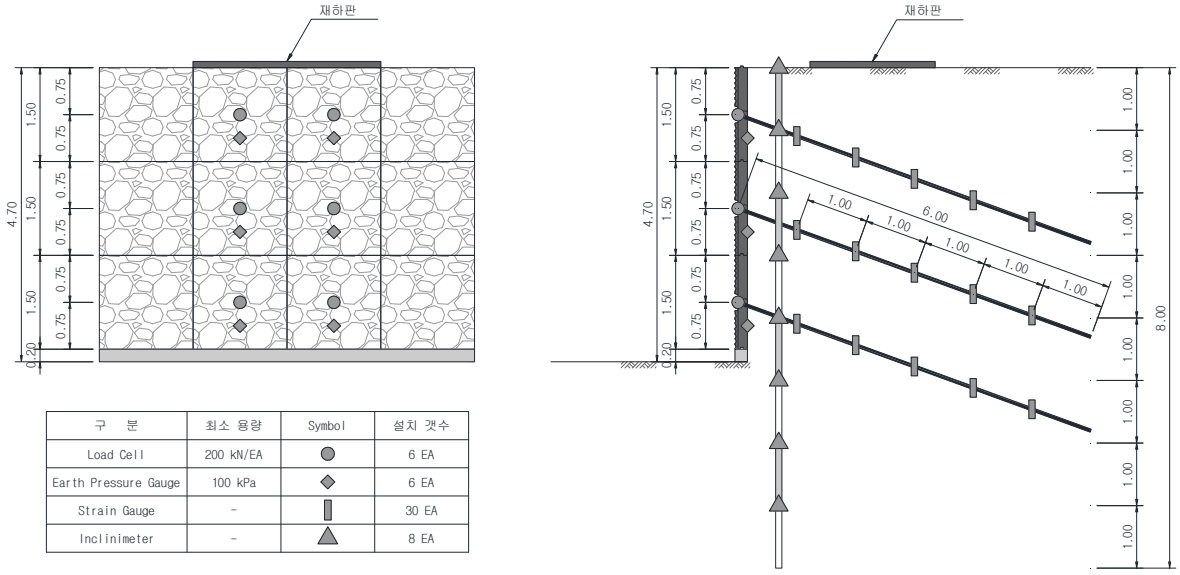
(라) 대형재하시험 계측 계획

- 대형재하시험 중 옹벽 비탈면의 안정성을 확인하고 하중 재하에 따른 옹벽 및 보강재의 거동특성을 파악하기 위하여 계측을 수행하였다.

- 계측은 재하판 하부 패널 2열에 대해서 수행되었으며 설치된 계측기의 제원과 배치도는 다음 표 3.56 및 그림 3.58과 같다.

표 3.56 계측기 제원

계측기	수량	설치목적
지중경사계 (Inclinometer)	1EA	• 지반의 수평변위량을 측정하여 연속적인 횡방향 변위와 변화속도 및 지반거동을 파악하기 위함
토압계 (Earth Pressure Gauge)	6EA	• 벽체 패널 및 배면지반에 작용하는 토압을 파악하기 위함
하중계 (Load Cell)	6EA	• Soil Nail에 작용하는 축력을 파악하기 위함
변형률계 (Strain Gauge)	30EA	• Soil Nail에 작용하는 응력을 파악하기 위함
광파기 타켓 (Sheet Target)	6EA	• 패널에 반사시트 타켓을 설치하여 지반활동에 따른 패널의 거동을 파악하기 위함



(1) 계측기 설치 정면도 (2) 계측기 설치 횡단면도

그림 3.58 계측기 배치도

(마) 재하시험 설치 순서

• 재하시험 설치 순서는 다음 그림 3.58과 같다.

(1) 반력앵커 시공

(2) 재하 자재 준비

(3) 탄성받침대 설치

(4) 재하판 설치

(5) 재하프레임 설치

(6) 상부 재하판 설치

(7) 유압잭 설치

(8) Load Cell 설치

그림 3.59 재하시험 설치 순서 (계속)

(9) Support Beam 설치

(10) Main Beam 설치

(11) Guide Beam 설치

(12) 반력앵커 연결

(13) 유압호스 연결

(14) Load Cell 연결

(15) LVDT 연결

(16) 재하시험 수행

그림 3.59 재하시험 설치 순서

(4) 대형 재하시험 결과

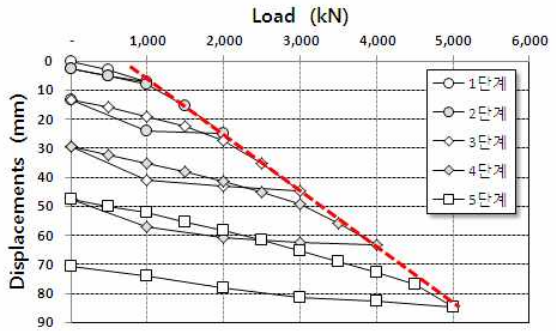
(가) 하중-침하곡선 분석

- 대형 재하시험 중 하중-침하 관계에 대한 분석 결과 재하하중 5,000kN 이내에서 선형 탄성거동을 보이는 것으로 나타났으며 자연암반형 패널 옹벽으로 보강된 지반의 항복점은 나타나지 않았다(그림 3.60-(가)~(다)).

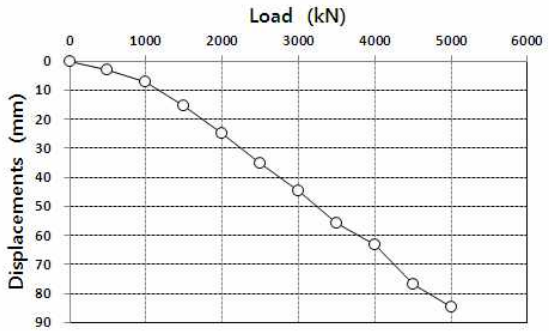
- 또한 지반의 탄성침하량 및 소성침하량에 대한 분석 결과 모두 선형 거동을 나타내는 것으로 분석되었으며(그림 3.60-(라)) 특히 지반의 항복 또는 파괴 시 발생되는 소성 변위의 급격한 증가는 나타나지 않았다.

- 본 재하시험은 예비해석을 통하여 파괴 직전의 하중까지 재하를 수행하였으므로 5,000kN을 파괴하중으로 가정할 경우 옹벽 비탈면에 적용된 하중은 재하판의 크기가 6.0m^2임을 감안할 때 약 833.33kN/m^2의 상재하중을 파괴하중으로 추정할 수 있다.

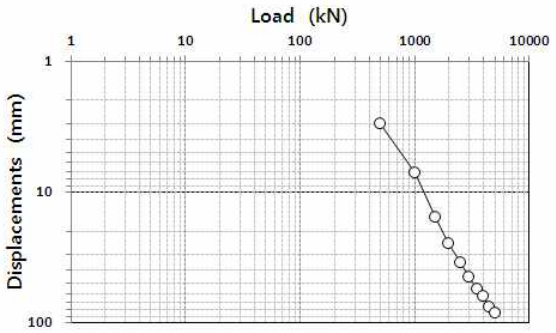
- 일반적인 흙의 단위중량을 19kN/m^3으로 가정할 때 833.33kN/m^2에 해당하는 흙의 높이는 약 43.86m로 일반적인 비탈면에 자연암반형 패널을 이용한 옹벽공법을 적용할 경우 최대 높이 40m 이상의 비탈면 형성이 가능할 것으로 판단된다.



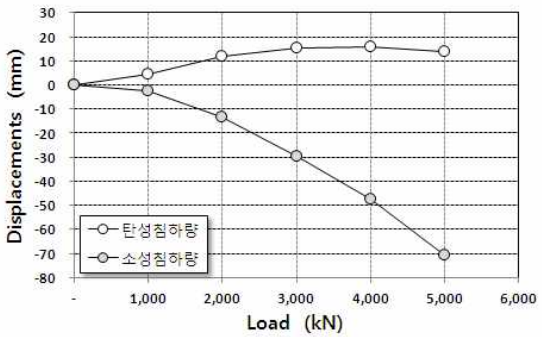
(1) 재하시험 결과



(2) P - S Curve



(3) Log P - Log S Curve



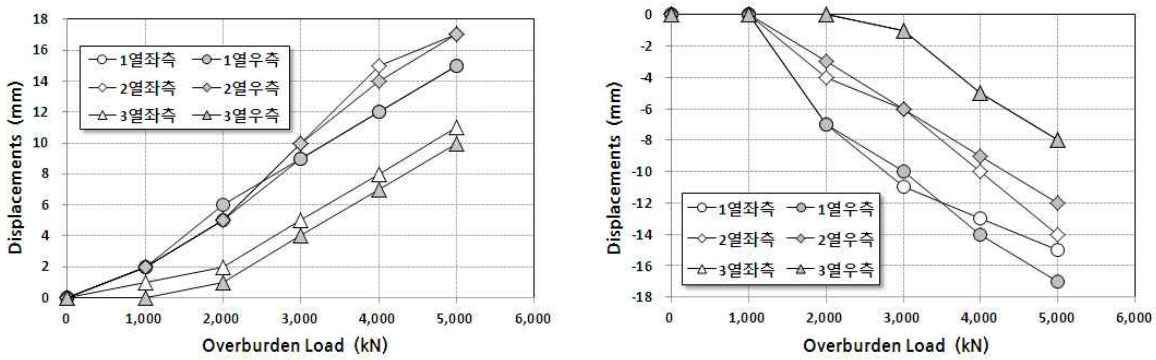
(4) 탄-소성 침하곡선

그림 3.60 대형 재하시험 결과

(나) 하중에 따른 옹벽 전면부 변위 분석

- 대형재하시험 중 광파타겟 계측에 의한 옹벽 전면부의 변위에 대한 분석 결과 최대 수평변위 17.00mm, 최대 침하량 18.00mm로 평가되었으며 하중 재하에 따른 변위 양상은 다음 그림 3.61과 같다.

- 변위 양상에 대한 검토 결과 벽체의 수평변위 및 침하량은 하중이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있으며 옹벽 구조물의 항복 또는 파괴에 해당하는 급격한 변위 증가는 발생하지 않은 것으로 나타났다.



(1) 옹벽의 수평변위 (2) 옹벽의 침하량

그림 3.61 광파타겟 분석결과

- 하중 재하에 따른 옹벽 전체의 변위 분포를 하중 단계별로 요약하여 정리하면 다음 표 3.57과 같다.

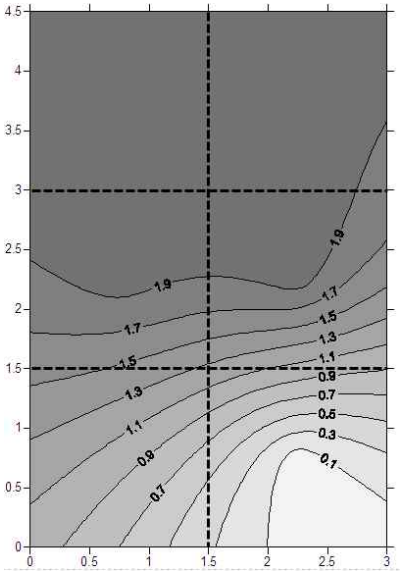
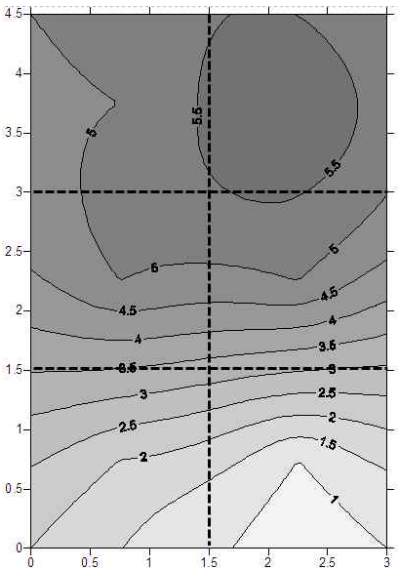
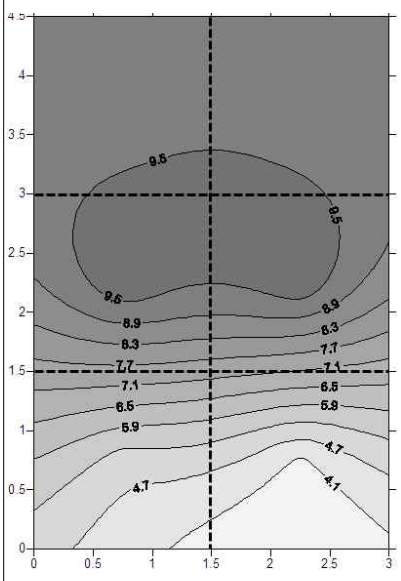
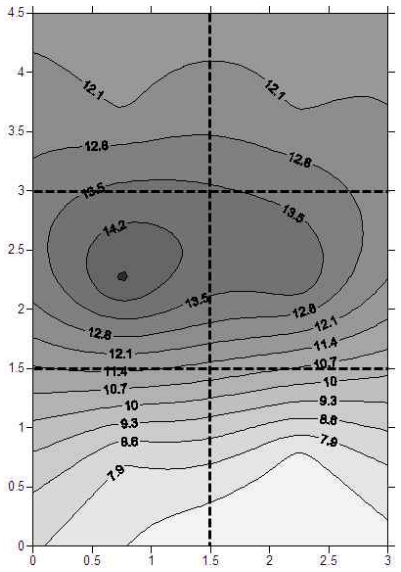
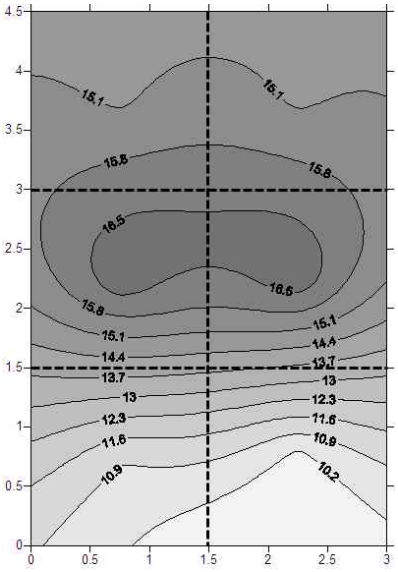
- 표 3.57에서 변위비(δ_{H_MAX}/H)와 하중비(P/P_y)는 각 하중단계별로 전면벽체에서 발생된 최대 수평변위(δ_{H_MAX})와 재하하중을 각각 벽체높이(4.5m)와 하중-침하곡선에서 가정된 항복하중(P_y=5,000kN)으로 나누어 무차원화 시킨 무차원 변수이다.

- 표 3.57에서 알 수 있듯이 하중 초기에는 벽체 상단에서 가장 큰 변위가 발생하나 하중이 증가할수록 벽체 중앙부에서 최대 수평변위가 발생하는 경향을 나타내었다.

- 또한 항복하중 도달 시 벽체의 변위비는 0.37%로 평가되었으며 외관상 패널의 미세 균열 및 주변지반의 인장균열 등은 발견되지 않았다.

- 따라서, 본 연구를 통하여 측정된 변위비를 이용하여 향후 자연암반형 패널의 관리 기준치를 설정하여 시공 중 자연암반형 패널 벽체의 안정성을 평가할 수 있는 중요 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 3.57 벽체 변위 분포도

1,000kN	2,000kN	3,000kN
		
• 최대 수평변위(δ_{H_MAX}) : 2.00mm • 발생변위비(δ_{H_MAX}/H) : 0.04% • 하중비(P/P_y) : 20%	• 최대 수평변위(δ_{H_MAX}) : 5.00mm • 발생변위비(δ_{H_MAX}/H) : 0.11% • 하중비(P/P_y) : 40%	• 최대 수평변위(δ_{H_MAX}) : 10.00mm • 발생변위비(δ_{H_MAX}/H) : 0.22% • 하중비(P/P_y) : 60%
4,000kN	**5,000kN**	**–**
		
• 최대 수평변위(δ_{H_MAX}) : 15.00mm • 발생변위비(δ_{H_MAX}/H) : 0.33% • 하중비(P/P_y) : 80%	• 최대 수평변위(δ_{H_MAX}) : 17.00mm • 발생변위비(δ_{H_MAX}/H) : 0.37% • 하중비(P/P_y) : 100%	

(다) 쏘일네일링 발생 축력 분석

- 쏘일네일링 두부에 설치된 하중계에서 측정된 쏘일네일링 축력에 대한 분석결과 최대 발생 축력은 26.70kN으로 2열 좌측에서 발생하였다.

- 이는 쏘일네일링의 설계축력(SD400, D29, 128.48kN) 대비 20.78%로 비탈면의 항복하중(5,000kN) 상태에서도 보강재 파단 또는 인발에 의한 옹벽 붕괴는 발생하지 않는 것으로 나타났다.

- 또한, 쏘일네일링의 축력은 상·하로는 2열 〉 1열 〉 3열, 좌·우로는 좌측 〉 우측 순으로 평가되었으며 이는 광파타겟에 의한 벽체의 수평변위 발생 경향과도 일치하는 것으로 나타났다.

- 하중 단계별, 계측 위치별 쏘일네일링의 축력은 다음 그림 3.62와 같다.

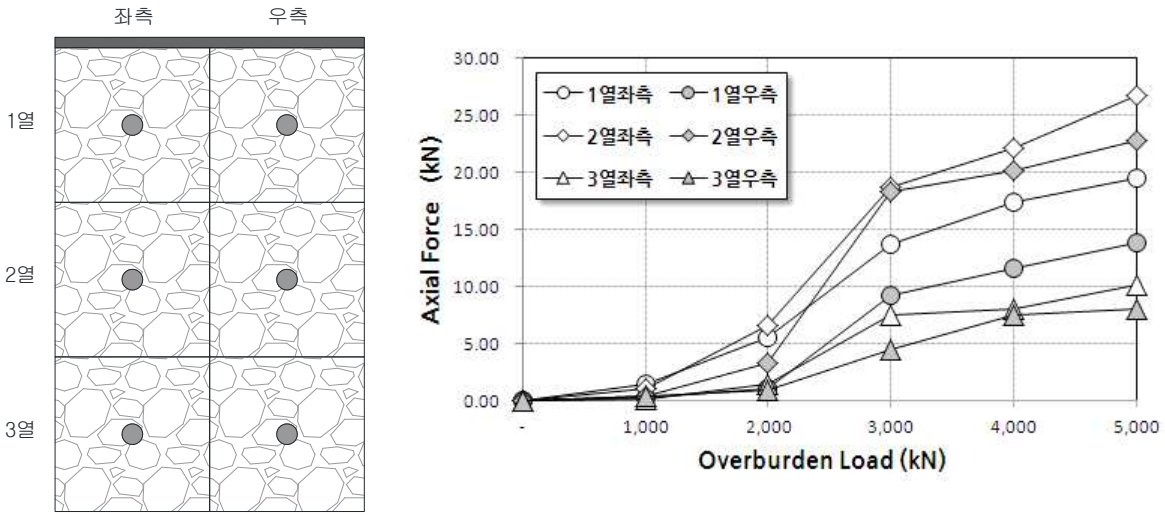


그림 3.62 쏘일네일링 발생 축력

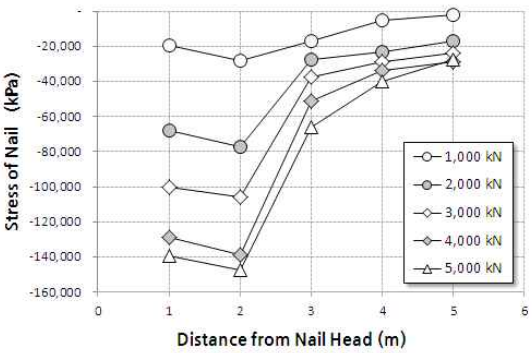
- 쏘일네일링은 비탈면 붕괴 시 인발력 이외에도 휨 또는 전단저항력을 발휘하는 것으로 알려져 있다.

- 두부에 측정된 축력값은 쏘일네일링의 휨 변형 또는 전단변형에 의한 축력 증가가 어느 정도 반영되어 있지만 쏘일네일링의 안정성에 대한 절대적인 평가 기준이 될 수 없으며 변형률계에서 측정된 쏘일네일링의 응력값과 종합적인 분석이 이루어져야 한다.

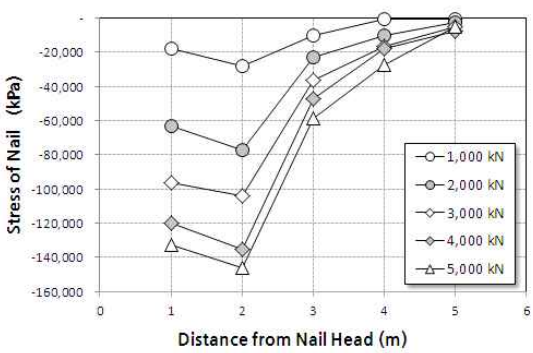
(라) 쏘일네일링 발생 응력 분석

- 변형률계에서 측정된 하중 단계별 쏘일네일링의 발생 응력은 다음 그림 3.63과 같다.

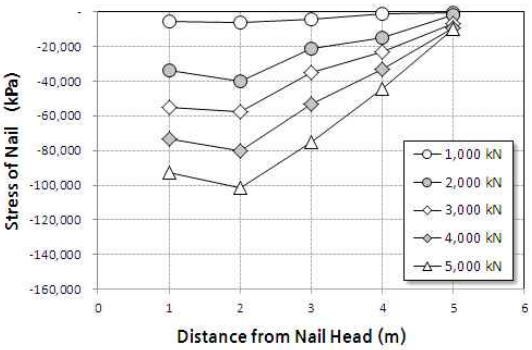
- 그림 3.63에 제시된 그래프의 Y축 Scale은 모두 동일하며 응력 발생 경향을 분석해 볼 때 최상단 쏘일네일링에서 가장 큰 응력이 발생하였으며 두부로부터 2.0m 지점에서 최대값을 나타냄을 알 수 있다.



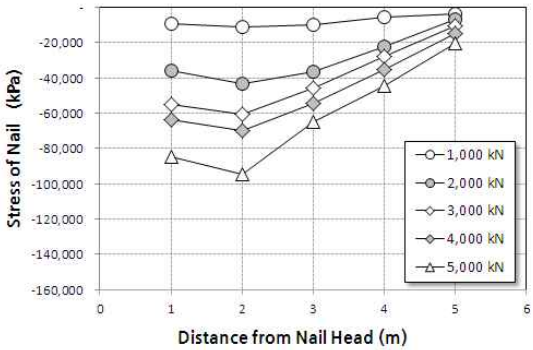
(1) 1열 좌측



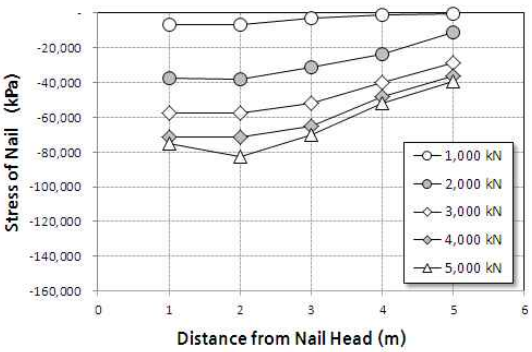
(2) 1열 우측



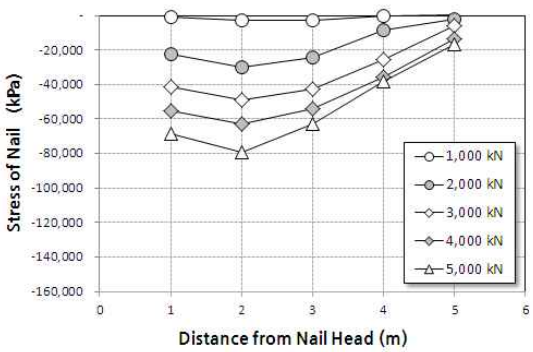
(3) 2열 좌측



(4) 2열 우측



(5) 3열 좌측



(6) 3열 우측

그림 3.63 위치별 쏘일네일링 발생 응력

• 최대응력의 발생 위치가 축력계에서 측정된 최대 축력의 위치와 상이한 원인을 분석해 보면 재하하중이 옹벽 상부에 전체적으로 분포한 것이 아니고 재하판 이라는 제한된 범위(3.0m×2.0m) 내에서 재하되었으며 쏘일네일링 전체 길이(6.0m)를 고려할 때 쏘일네일링 전체 길이가 아닌 일부구간에 집중되어 하중이 재하되었기 때문인 것으로 판단된다.

• 제한된 범위에 하중이 재하된 쏘일네일링은 휨 응력이 발생하게 되고 휨 응력은 하중 재하위치에서 가까울수록 커지기 때문이다(그림 3.64).

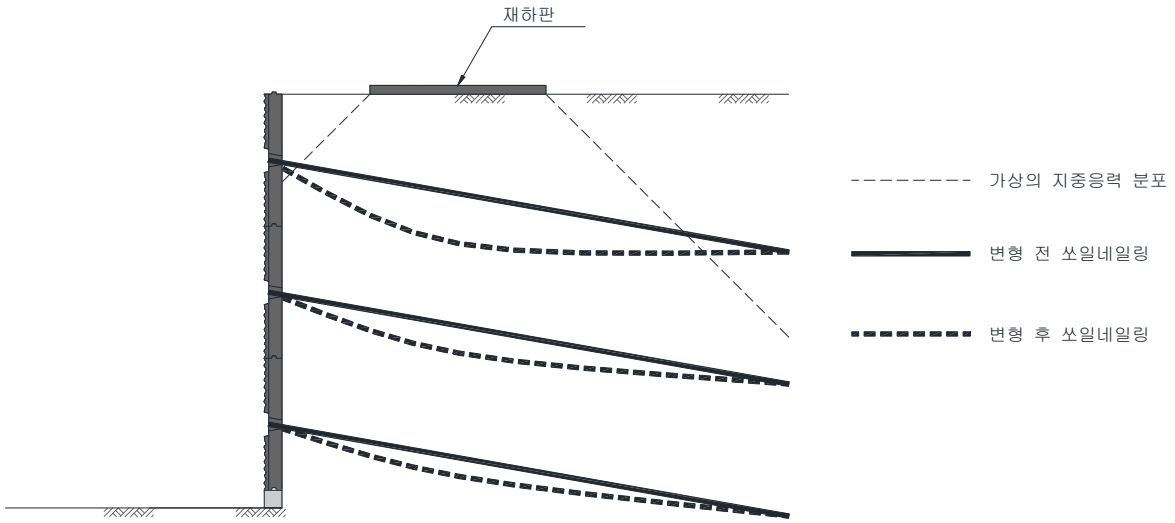


그림 3.64 쏘일네일링 휨응력 발생 모식도

• 그림 3.64의 쏘일네일링 휨응력 발생 모식도와 같이 변형이 발생할 경우 최상단 1열 쏘일네일링에서 가장 큰 휨 응력이 발생하며 재하판이 위치한 쏘일네일링 두부쪽에서 가장 큰 응력이 발생하게 된다.

• 또한, 벽체의 수평변위에 의한 쏘일네일링의 축력은 이론적으로 쏘일네일링 전체에 고르게 분포되지만 휨 응력의 경우 가장 큰 변위가 발생한 지점에서 가장 큰 값을 나타내게 된다.

• 쏘일네일링에서 발생한 최대 응력은 147,529kPa, 하중으로 환산하면 94.82kN으로 시험시공에 적용된 쏘일네일링(SD400, D29)의 허용응력(300,000kPa)의 49.18%로, 설계 축력(128.48kN)의 73.80%로 평가되었으며 항복하중(5,000kN) 도달 시에도 보강재의 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다.

(마) 패널 작용 토압 분석

- 패널 배면에 설치된 토압계 측정값 분석 결과 최대 발생 토압은 34kPa로 평가되었으며 최대 토압은 2열 좌측에서 발생한 것으로 평가되었다.

- 발생 토압을 하중으로 환산하면 패널에 작용하는 하중은 최대 76.5kN이며 패널의 변형으로 인한 하중손실 없이 모든 토압이 쏘일네일링으로 전달될 경우에도 쏘일네일링의 설계축력(128.48kN)의 59.54%로 보강재 및 옹벽 전체의 안정성에 영향을 미칠 정도의 토압은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 패널에 작용하는 토압은 상·하로는 2열 〉 1열 〉 3열, 좌·우로는 좌측 〉 우측 순으로 평가되었으며 이는 광파타겟에 의한 벽체의 수평변위 발생 경향 및 하중계에 의한 쏘일네일링 축력 측정결과와 동일한 양상을 나타내는 것으로 평가되었다.

- 하중 단계별, 계측 위치별 패널에 작용하는 토압은 다음 그림 3.65와 같다.

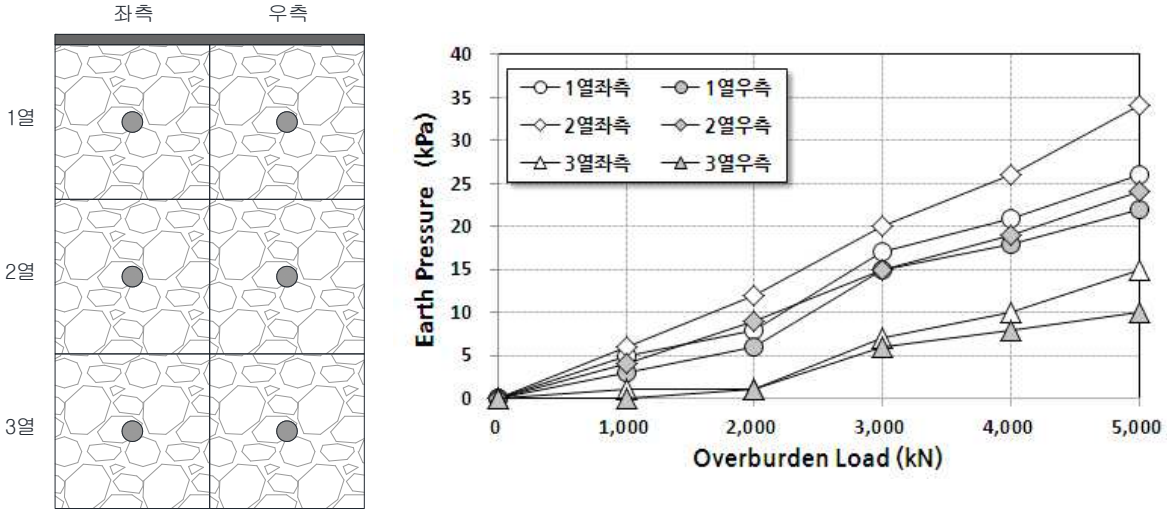


그림 3.65 패널 작용 토압

- 2열에서 최대토압이 발생하는 원인에 대해 분석해 보면 그림 3.61에 도시된 대로 재하판의 위치를 고려할 때 지중응력의 도달 위치가 최상단 1열 패널의 가운데 부분으로 1열의 패널은 하중재하에 따른 지중응력을 상대적으로 덜 받기 때문인 것으로 판단된다.

- 이러한 결과는 패널 전면부의 변위 분포 및 쏘일네일링 축력분포에서도 동일하게 나타나는 현상으로 실제 시공 시에도 소단별 최상단 패널 보다는 가운데 위치한 패널에 대한 계측 및 시공관리가 가장 중요할 것으로 판단된다.

(바) 지중경사계 계측결과 분석

- 하중 재하에 따른 지중경사계의 변위 분석결과 지중 최대 수평변위는 심도 2.0m에서 15.680mm로 평가되었으며 이는 패널 2열에 해당된다.

- 지중경사계 측정결과 또한 패널 전면의 변위양상, 쏘일네일링 축력분포 및 패널 배면 토압분포와 유사한 양상을 나타내는 것으로 평가되었다.

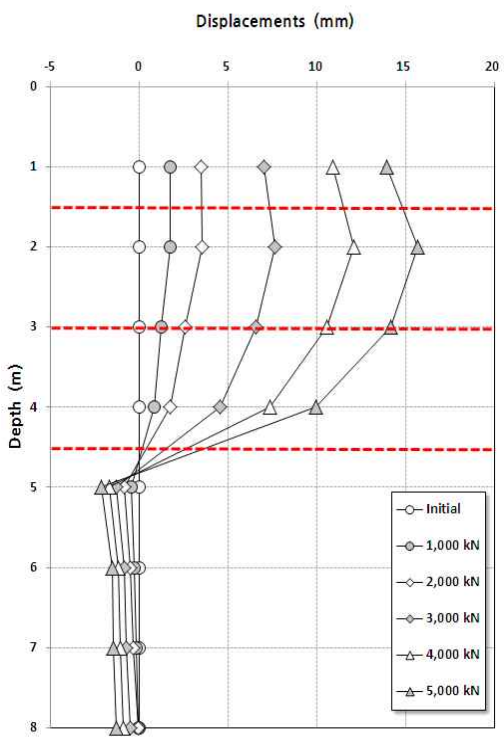
- 또한 패널 전면에서 측정된 최대 수평변위 17.00mm와는 약 7.7%의 근소한 오차를 보이며 이는 지중경사계 측정 위치와 광파타겟 측정 위치의 차이 및 지중에서의 흙입자의 거동과 패널의 강체거동의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

- 지중경사계의 최대 변위를 패널 전면변위 분석 시 적용된 무차원계수인 변위비로 변환하면 변위비(δ_{H_MAX}/H)는 0.34%로 하중비 80% 상태의 패널의 변위비와 유사한 것으로 평가되었다.

- 지중경사계 계측결과는 다음 표 3.58과 같다.

표 3.58 지중경사계 계측결과

Depth (m)	Displacement(mm)				
	1,000 (kN)	2,000 (kN)	3,000 (kN)	4,000 (kN)	5,000 (kN)
1	1.705	3.455	7.035	10.900	13.960
2	1.750	3.545	7.655	12.070	15.680
3	1.250	2.575	6.580	10.590	14.190
4	0.825	1.710	4.525	7.355	9.975
5	−0.460	−0.865	−1.300	−1.710	−2.175
6	−0.295	−0.530	−0.880	−1.200	−1.545
7	−0.195	−0.330	−0.735	−1.110	−1.490
8	−0.060	−0.050	−0.495	−0.910	−1.330



(5) 대형재하시험 결과 요약

- 대형 재하시험 중 하중-침하 관계에 대한 분석 결과 재하하중 5,000kN 이내에서 선형 탄성거동을 보이는 것으로 나타났으며 지반의 항복 또는 파괴 시 발생되는 소성변위의 급격한 증가는 나타나지 않았다.

- 본 재하시험 시 비탈면에 적용된 하중을 응력단위로 환산하면 재하판의 크기가 6.0m^2 임을 감안할 때 약 833.33kN/m^2이며 일반적인 흙의 단위중량을 19kN/m^3으로 가정할 경우 최대 43.86m의 비탈면 형성이 가능할 것으로 판단된다.

- 대형재하시험 중 옹벽 전면부의 변위는 최대 수평변위 17.00mm, 최대 침하량 18.00mm로 평가되었으며 옹벽 구조물의 항복 또는 파괴에 해당하는 급격한 변위 증가는 발생하지 않은 것으로 나타났다.

- 옹벽의 변위 발생 양상은 하중 초기에는 벽체 상단에서 가장 큰 변위가 발생하나 하중이 증가할수록 벽체 중앙부에서 최대 수평변위가 발생하는 경향을 나타내었으며 최대하중 도달 시 외관상 패널의 미세균열 및 주변지반의 인장균열 등은 발견되지 않았다.

- 쏘일네일링 두부에 설치된 하중계에서 측정된 쏘일네일링 축력에 대한 분석결과 최대 발생 축력은 26.70kN으로 나타났다.

- 이는 쏘일네일링의 설계축력(SD400, D29, 128.48kN) 대비 20.78%에 해당하는 하중으로 비탈면의 항복하중(5,000kN) 상태에서도 보강재 파단 또는 인발에 의한 옹벽 붕괴는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 또한 쏘일네일링에 부착된 변형률계에 의한 재하하중에 따른 쏘일네일링 발생응력 분석 결과 최대 응력은 147,529kPa, 하중으로 환산하면 94.82kN으로 시험시공에 적용된 쏘일네일링(SD400, D29)의 허용응력(300,000kPa)의 49.18%, 설계 축력(128.48kN)의 73.80%로 평가되었으며 항복하중(5,000kN) 도달 시에도 보강재의 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다.

- 하중 재하 시 패널에 작용하는 최대 토압은 34kPa로 평가되었으며 패널 규격(1.5m×1.5m)을 고려할 때 패널 당 최대 76.5kN의 하중이 작용하는 것으로 평가되었다.

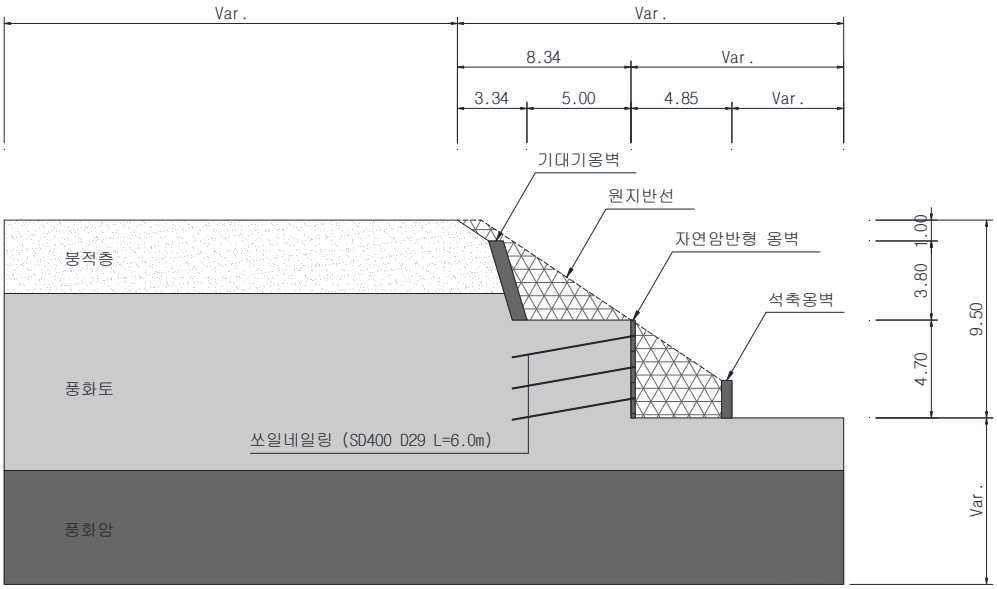
- 패널에 작용하는 토압이 패널의 변형으로 인한 하중손실 없이 쏘일네일링으로 전달될 경우에도 쏘일네일링의 설계축력(128.48kN)의 59.54%로 보강재 및 옹벽 전체의 안정성에 영향을 미칠 정도의 토압은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

9. 수치해석적 검증

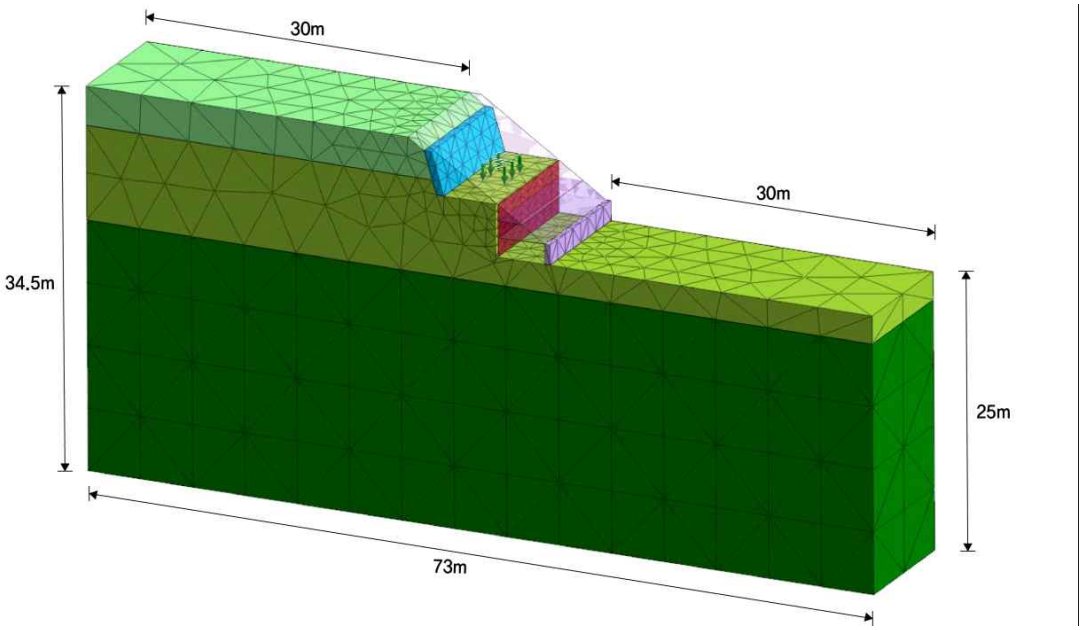
가. 수치해석 개요

- 자연암반형 패널의 시험시공 및 대형재하시험에 대한 검증을 위하여 수치해석을 수행하였다.

- 수치해석은 지반공학분야 범용 3차원 유한요소 프로그램인 Midas-GTX-NX를 이용하여 수행되었으며 검토단면 및 해석 모델링은 다음 그림 3.66과 같다.



(1) 검토단면



(2) 해석 모델링

그림 3.66 수치해석 검토단면 및 모델링

나. 해석조건 및 방법

(1) 해석 조건

• 해석조건을 정리하면 다음 표 3.59와 같다.

표 3.59 해석 조건

구 분		해석 조건
해석 프로그램		Midas-GTX-NX (Finite Elements Analysis Tool)
해석 모델		Mohr-Coulomb 탄소성 모델
적용 요소	지 반	Solid 요소
	자연암반형 패널	Plate 요소
	쏘일네일링	Truss 요소

(2) 해석 적용 물성

• 해석에 적용된 지반 물성치는 본 연구중에 수행된 지반조사 결과를 토대로 산정된 지반 물성치를 적용하였으며 보강재의 물성은 건설공사 비탈면 설계기준(건설교통부, 2011) 및 도로설계기준(한국도로공사, 2012), 철도설계기준(한국철도시설공단, 2015)에 제시된 값을 적용하였다.

• 유한요소 해석 시 적용된 지반 및 보강재의 물성을 정리하면 다음 표 3.60 및 3.61과 같다.

표 3.60 해석 적용 지반물성

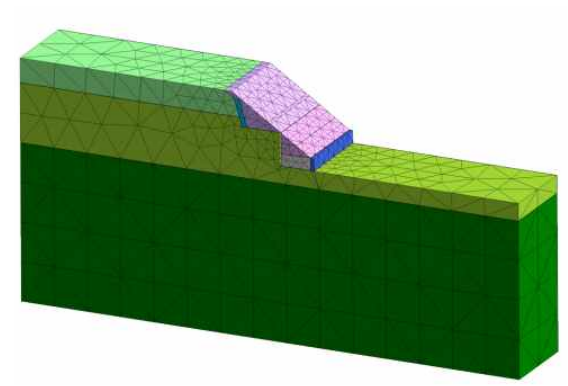
구 분	단위중량 (kN/m^3)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	포아송비	변형계수 (MPa)
붕 적 토	18	10	30	0.35	15.4
풍 화 토	19	10	30	0.35	50.5
풍 화 암	20	30	32	0.32	200

표 3.61 보강재 적용 물성

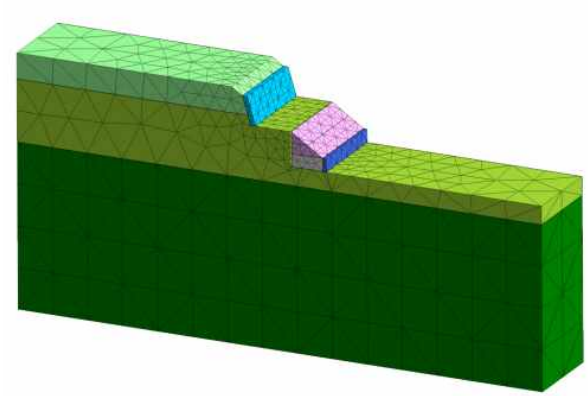
구 분	단위중량 (kN/m^3)	변형계수 (MPa)	비 고
소일 네일	78.5	210,000	D29(직경 28.6mm), 천공경 115mm
패널	25	30,000	철근콘크리트(압축강도 24MPa)

(3) 해석 순서

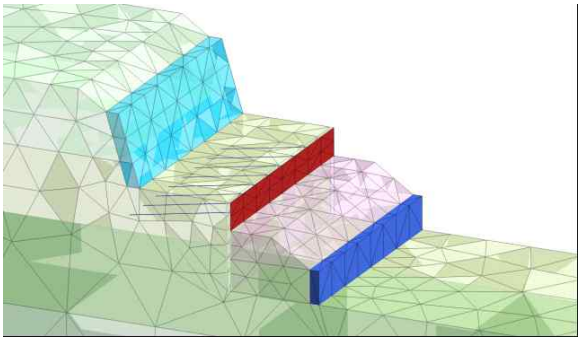
- 수치해석 순서는 실제 시험시공 및 재하시험과 동일한 순서로 모델링 하였으며 다음 그림 3.67과 같다.



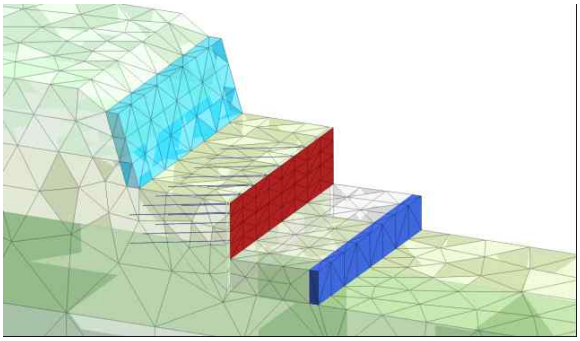
(1) Initial Stage



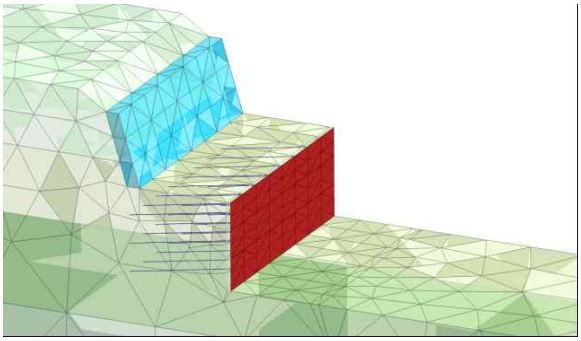
(2) 상부 굴착 및 기대기옹벽 설치



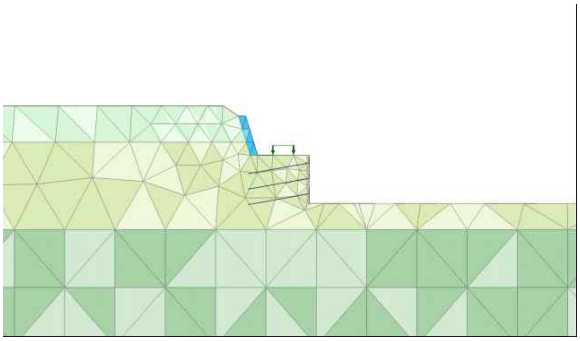
(3) 1단 굴착 및 옹벽 설치



(4) 2단 굴착 및 옹벽 설치



(5) 3단 굴착 및 옹벽 설치



(6) 하중 재하

그림 3.67 수치해석 순서

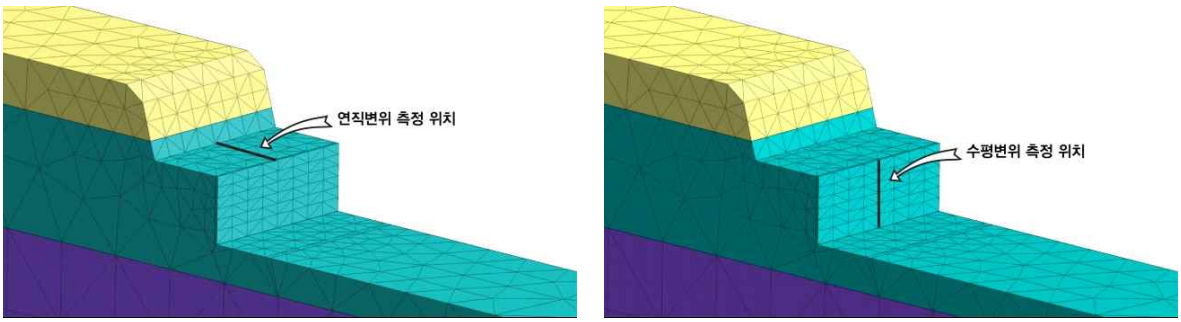
다. 수치해석 결과

- 시험시공 및 대형재하시험 결과와 수치해석 결과를 비교하기 위하여 수치해석 결과를 시험시공 4단계, 대형재하시험 5단계 총 9단계로 구분하여 분석을 수행하였다.

- 수치해석 결과 분석의 단계 및 시공내용은 다음 표 3.62에 요약 정리하였으며 수치해석 단면의 변위 측정 위치는 그림 3.68과 같다.

표 3.62 해석 단계별 시공 내용

시공 단계		시공 내용
시험시공	Step 1	상부 굴착 및 기대기옹벽 시공
	Step 2	1단 굴착, 쏘일네일링 및 패널 설치
	Step 3	2단 굴착, 쏘일네일링 및 패널 설치
	Step 4	3단 굴착, 기초콘크리트 타설, 쏘일네일링 및 패널 설치
대형재하시험	Step 5	하중재하 (1,000kN)
	Step 6	하중재하 (2,000kN)
	Step 7	하중재하 (3,000kN)
	Step 8	하중재하 (4,000kN)
	Step 9	하중재하 (5,000kN)



(1) 연직변위 측정위치 (2) 수평변위 측정위치

그림 3.68 변위 측정 위치

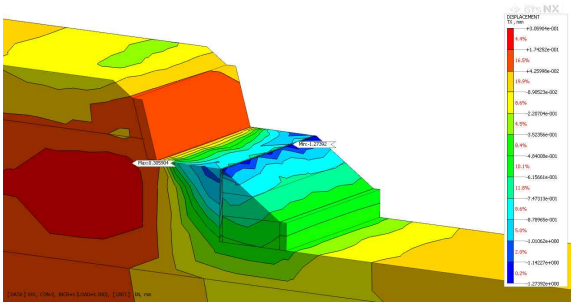
(1) 지반변위 및 응력 검토결과

(가) Step 1 수치해석 결과

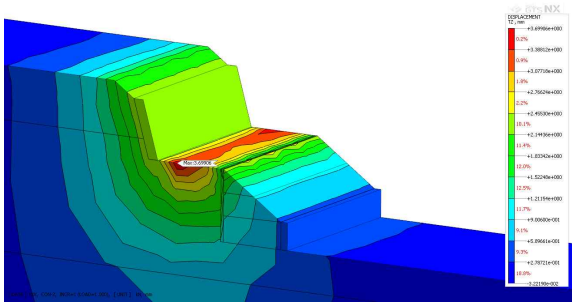
- 상부굴착 및 기대기 옹벽 시공 상태인 Step 1에 대한 수치해석 결과 최대 수평변위 1.274mm, 최대 연직변위 3.699mm로 비탈면의 안정성에 영향을 미칠만한 심각한 변위는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 또한 지반의 응력분포에 대한 검토결과 지반 파괴에 해당하는 소성영역은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

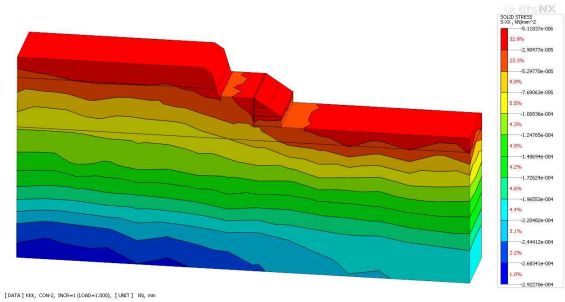
- Step 1의 해석결과는 다음 그림 3.69와 같다.



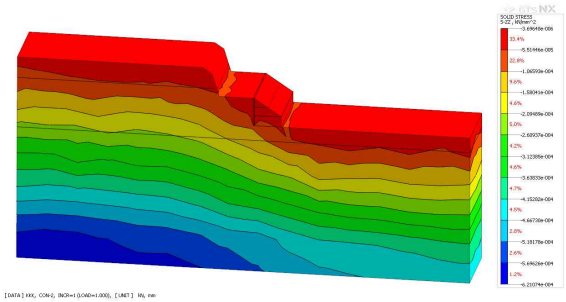
(1) 수평변위 분포도



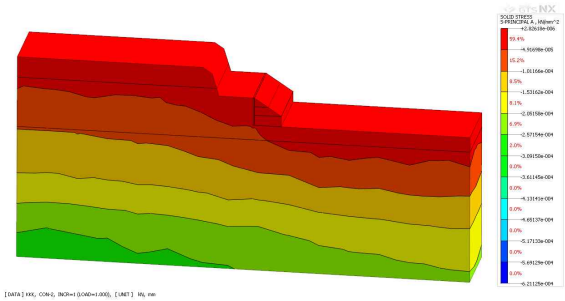
(2) 연직변위 분포도



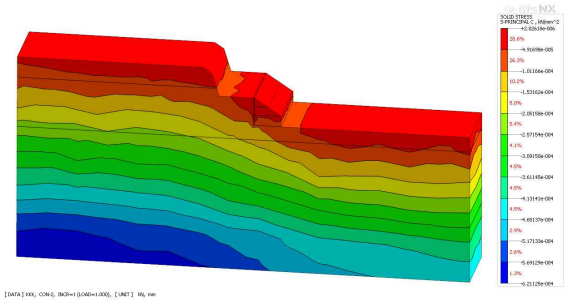
(3) 수평응력 분포도



(4) 연직응력 분포도



(5) 최대 주응력도



(6) 최소 주응력도

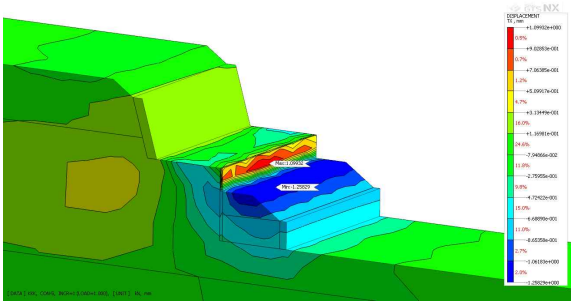
그림 3.69 Step 1 해석결과

(나) Step 2 수치해석 결과

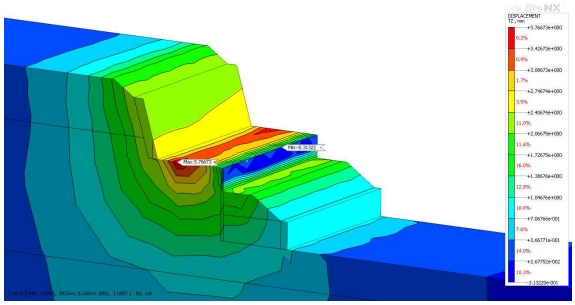
- 1단굴착 및 쏘일네일링, 자연암반형 패널 설치단계인 Step 2에 대한 수치해석 결과 최대 수평변위 1.099mm, 최대 연직변위 3.767mm로 비탈면의 안정성에 영향을 미칠 만한 심각한 변위는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 또한 지반의 응력분포에 대한 검토결과 지반 파괴에 해당하는 소성영역은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

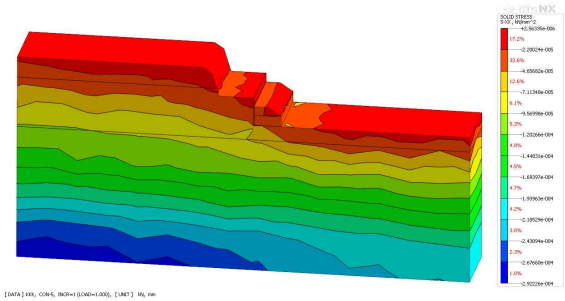
- Step 2의 해석결과는 다음 그림 3.70과 같다.



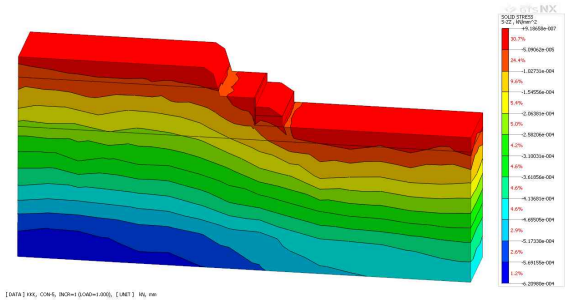
(1) 수평변위 분포도



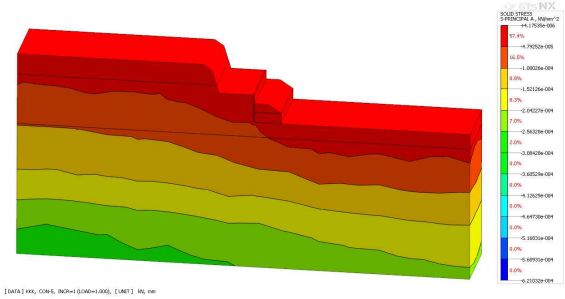
(2) 연직변위 분포도



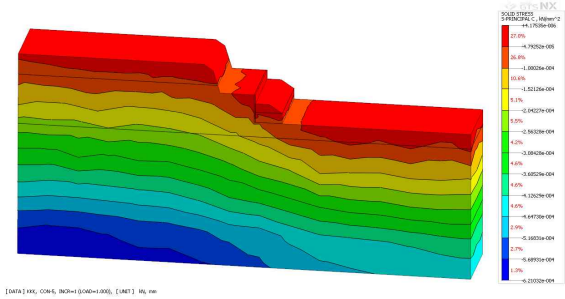
(3) 수평응력 분포도



(4) 연직응력 분포도



(5) 최대 주응력도



(6) 최소 주응력도

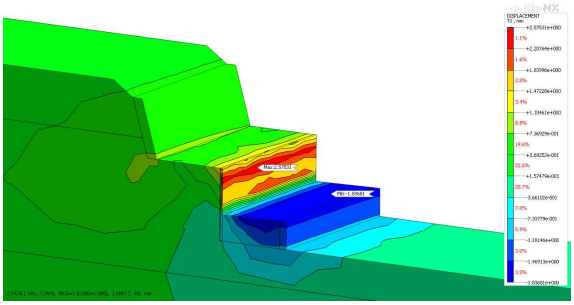
그림 3.70 Step 2 해석결과

(다) Step 3 수치해석 결과

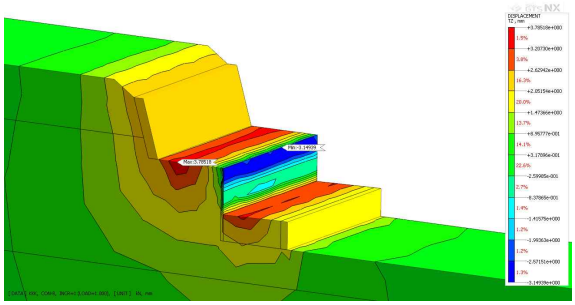
- 2단굴착 및 쏘일네일링, 자연암반형 패널 설치단계인 Step 3에 대한 수치해석 결과 최대 수평변위 2.575mm, 최대 연직변위 3.785mm로 비탈면의 안정성에 영향을 미칠 만한 심각한 변위는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 또한 지반의 응력분포에 대한 검토결과 지반 파괴에 해당하는 소성영역은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

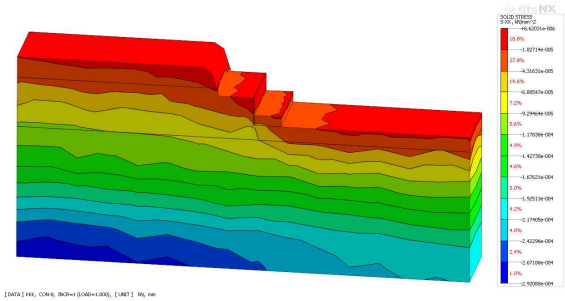
- Step 3의 해석결과는 다음 그림 3.71과 같다.



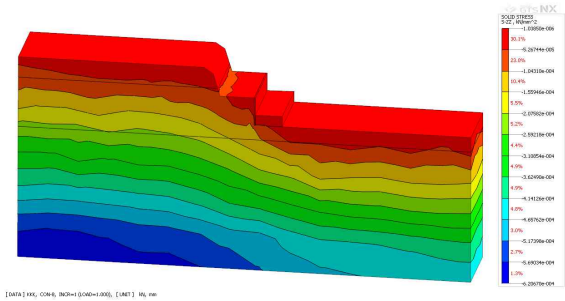
(1) 수평변위 분포도



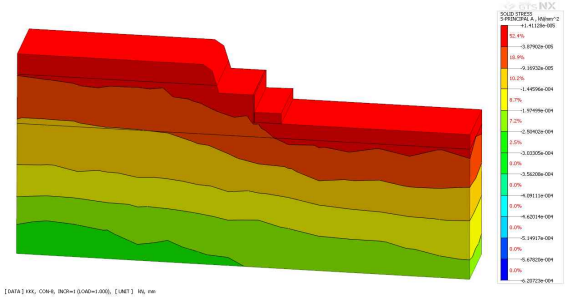
(2) 연직변위 분포도



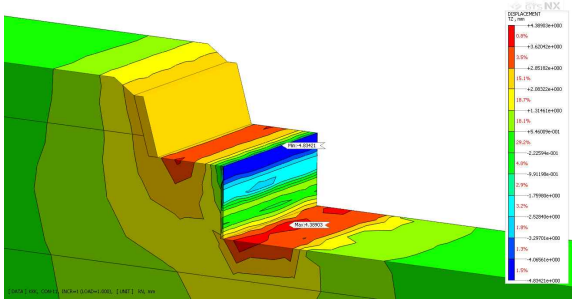
(3) 수평응력 분포도



(4) 연직응력 분포도



(5) 최대 주응력도



(6) 최소 주응력도

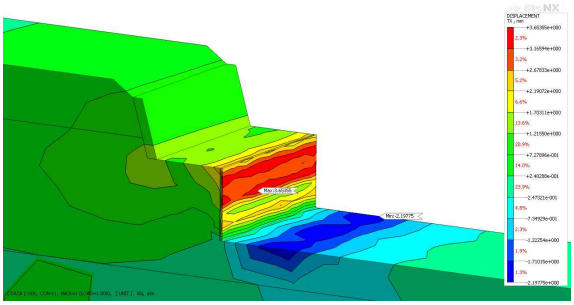
그림 3.71 Step 3 해석결과

(라) Step 4 수치해석 결과

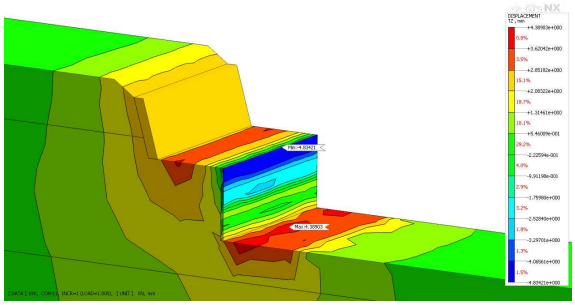
- 3단굴착 및 쏘일네일링, 자연암반형 패널 설치단계인 Step 4에 대한 수치해석 결과 최대 수평변위 3.654mm, 최대 연직변위 4.834mm로 비탈면의 안정성에 영향을 미칠 만한 심각한 변위는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 또한 지반의 응력분포에 대한 검토결과 지반 파괴에 해당하는 소성영역은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

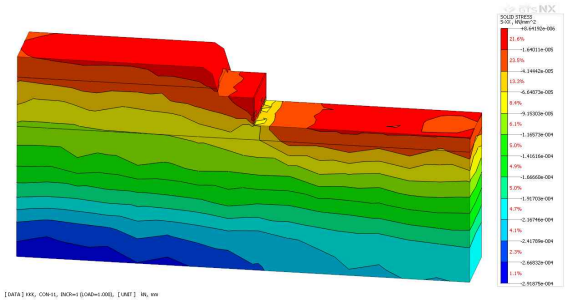
- Step 4의 해석결과는 다음 그림 3.72와 같다.



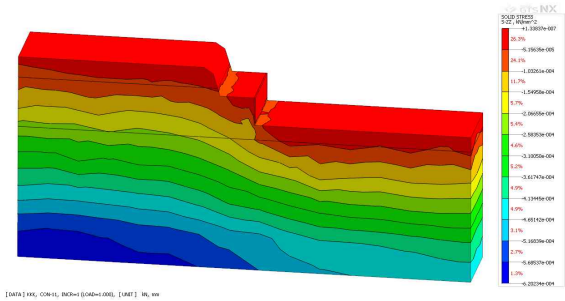
(1) 수평변위 분포도



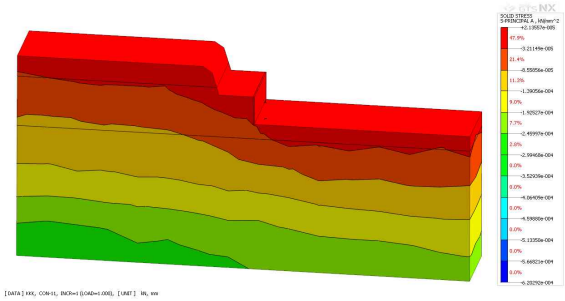
(2) 연직변위 분포도



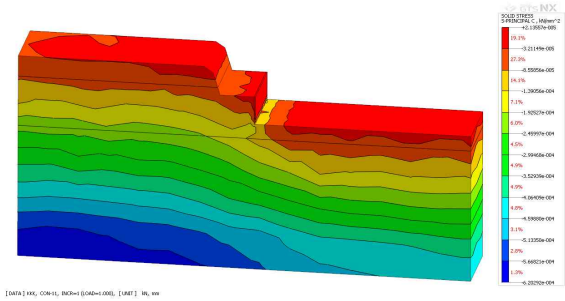
(3) 수평응력 분포도



(4) 연직응력 분포도



(5) 최대 주응력도



(6) 최소 주응력도

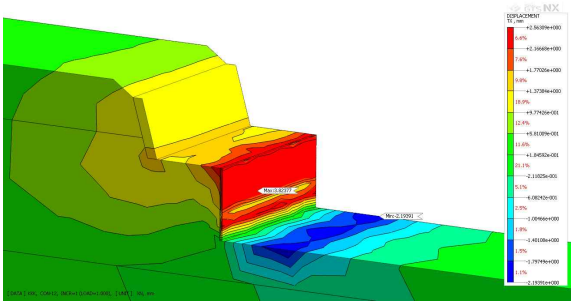
그림 3.72 Step 4 해석결과

(마) Step 5 수치해석 결과

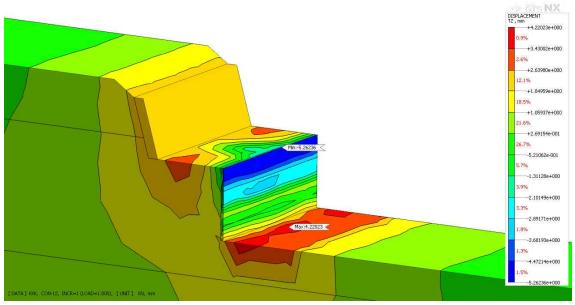
- 대형재하시험 중 상재하중 1,000kN 재하단계인 Step 5에 대한 수치해석 결과 최대 수평변위 3.824mm, 최대 연직변위 5.262mm로 비탈면의 안정성에 영향을 미칠만한 심각한 변위는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 또한 지반의 응력분포에 대한 검토결과 지반 파괴에 해당하는 소성영역은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

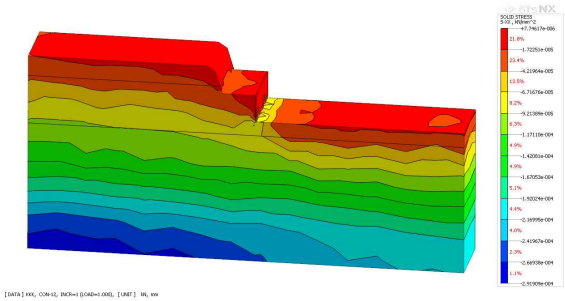
- Step 5의 해석결과는 다음 그림 3.73과 같다.



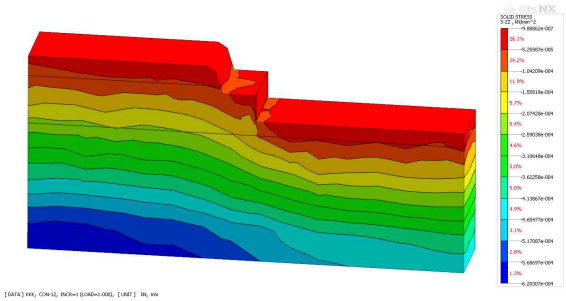
(1) 수평변위 분포도



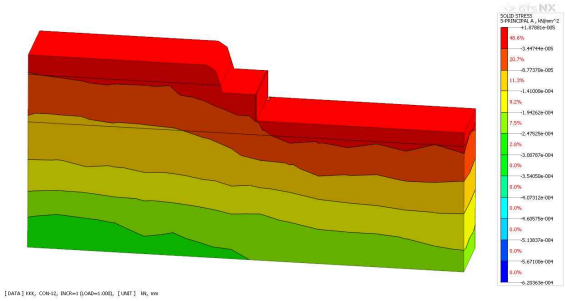
(2) 연직변위 분포도



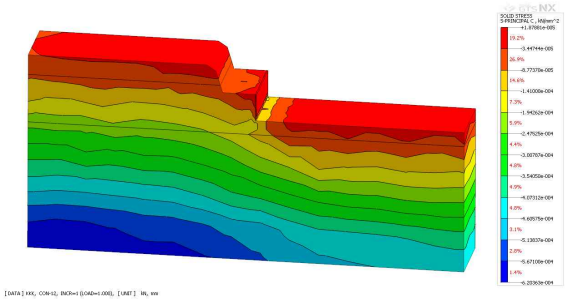
(3) 수평응력 분포도



(4) 연직응력 분포도



(5) 최대 주응력도



(6) 최소 주응력도

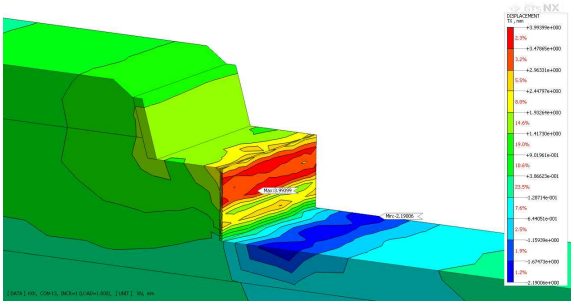
그림 3.73 Step 5 해석결과

(바) Step 6 수치해석 결과

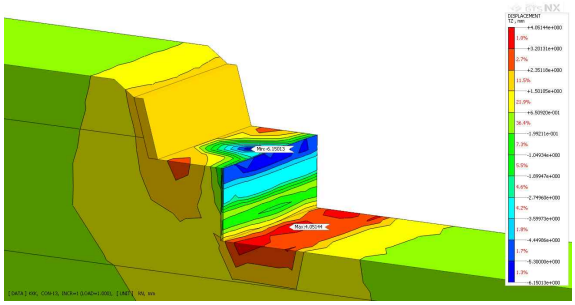
- 대형재하시험 중 상재하중 2,000kN 재하단계인 Step 6에 대한 수치해석 결과 최대 수평변위 3.994mm, 최대 연직변위 6.150mm로 비탈면의 안정성에 영향을 미칠만한 심각한 변위는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 또한 지반의 응력분포에 대한 검토결과 지반 파괴에 해당하는 소성영역은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

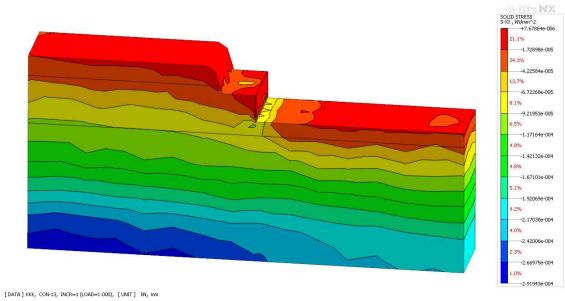
- Step 6의 해석결과는 다음 그림 3.74와 같다.



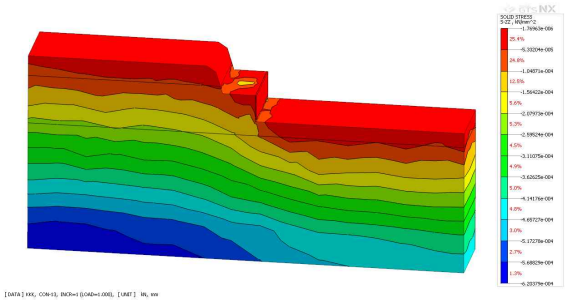
(1) 수평변위 분포도



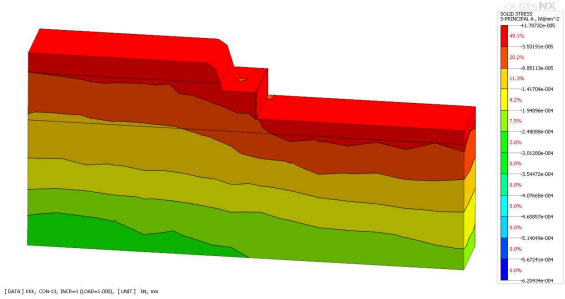
(2) 연직변위 분포도



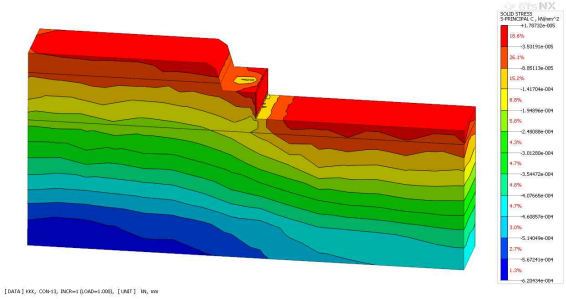
(3) 수평응력 분포도



(4) 연직응력 분포도



(5) 최대 주응력도



(6) 최소 주응력도

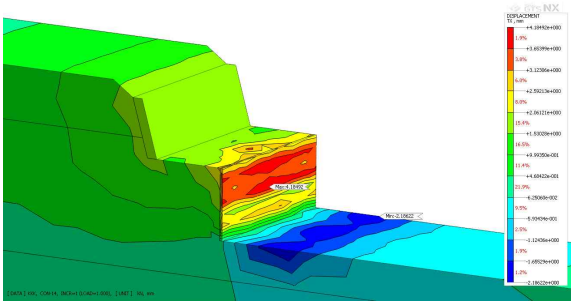
그림 3.74 Step 6 해석결과

(사) Step 7 수치해석 결과

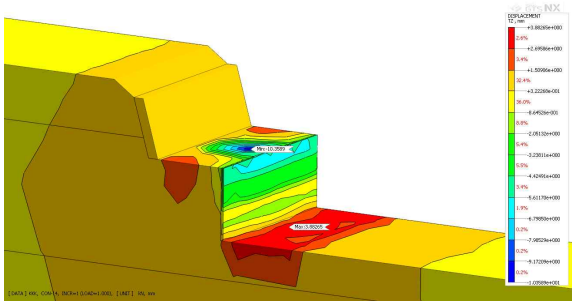
- 대형재하시험 중 상재하중 3,000kN 재하단계인 Step 7에 대한 수치해석 결과 최대 수평변위 4.185mm, 최대 연직변위 10.359mm로 비탈면의 안정성에 영향을 미칠만한 심각한 변위는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 또한 지반의 응력분포에 대한 검토결과 지반 파괴에 해당하는 소성영역은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

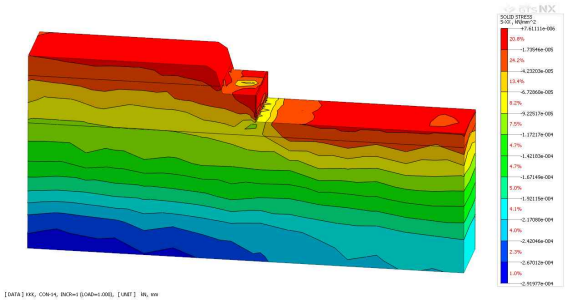
- Step 7의 해석결과는 다음 그림 3.75와 같다.



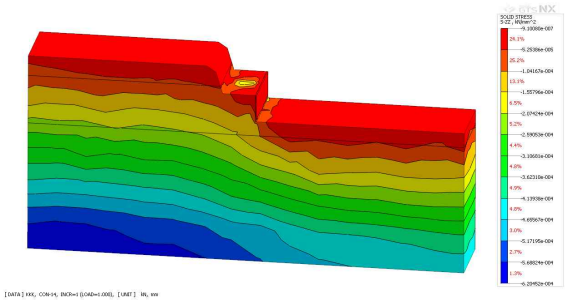
(1) 수평변위 분포도



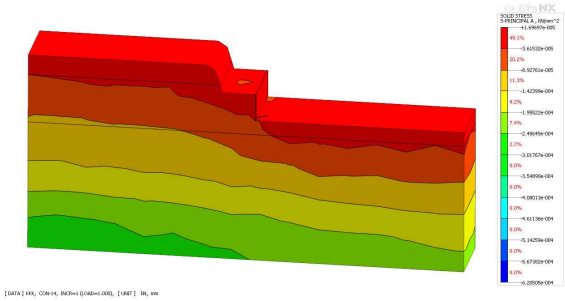
(2) 연직변위 분포도



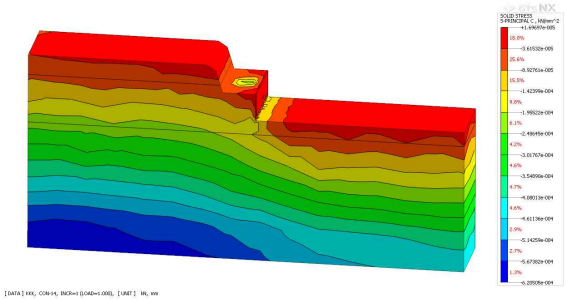
(3) 수평응력 분포도



(4) 연직응력 분포도



(5) 최대 주응력도



(6) 최소 주응력도

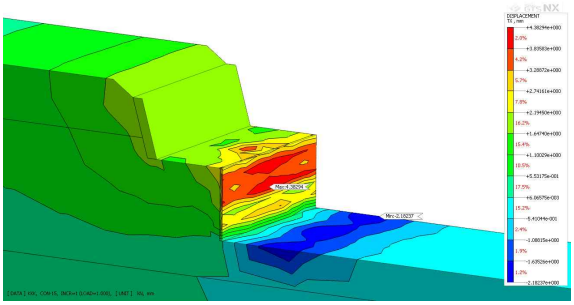
그림 3.75 Step 7 해석결과

(아) Step 8 수치해석 결과

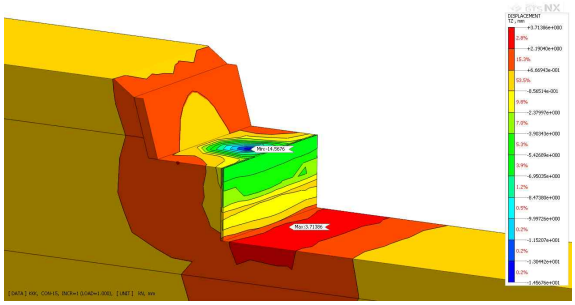
- 대형재하시험 중 상재하중 4,000kN 재하단계인 Step 8에 대한 수치해석 결과 최대 수평변위 4.383mm, 최대 연직변위 14.568mm로 비탈면의 안정성에 영향을 미칠만한 심각한 변위는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 또한 지반의 응력분포에 대한 검토결과 지반 파괴에 해당하는 소성영역은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

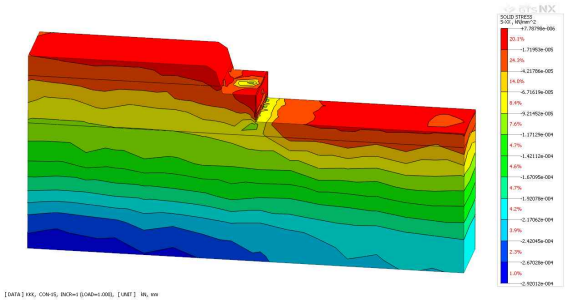
- Step 8의 해석결과는 다음 그림 3.76과 같다.



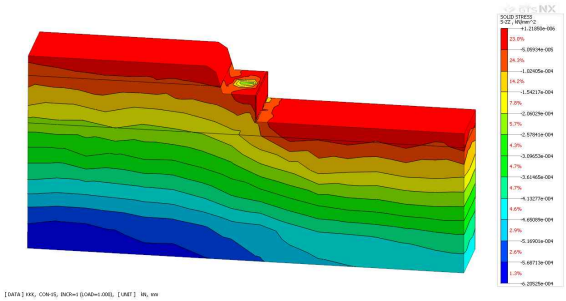
(1) 수평변위 분포도



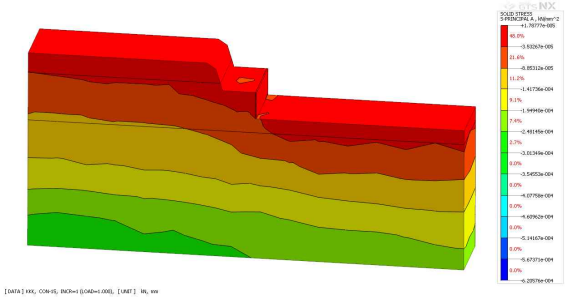
(2) 연직변위 분포도



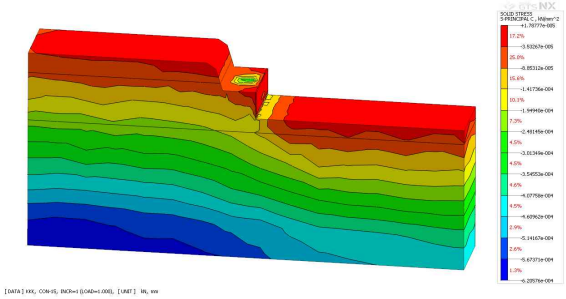
(3) 수평응력 분포도



(4) 연직응력 분포도



(5) 최대 주응력도



(6) 최소 주응력도

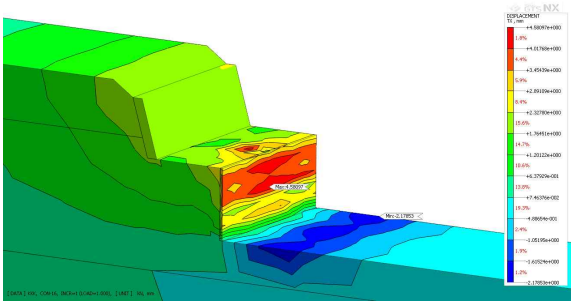
그림 3.76 Step 8 해석결과

(자) Step 9 수치해석 결과

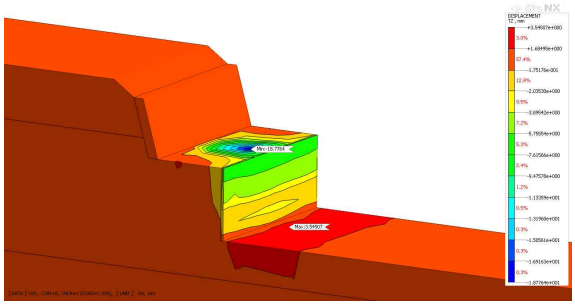
- 대형재하시험 중 상재하중 5,000kN 재하단계인 Step 9에 대한 수치해석 결과 최대 수평변위 4.581m, 최대 연직변위 18.776mm로 비탈면의 안정성에 영향을 미칠만한 심각한 변위는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 또한 지반의 응력분포에 대한 검토결과 지반 파괴에 해당하는 소성영역은 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

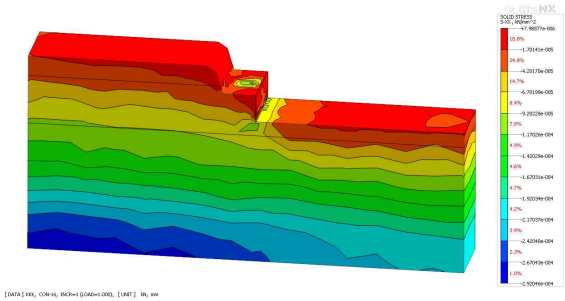
- Step 9의 해석결과는 다음 그림 3.77과 같다.



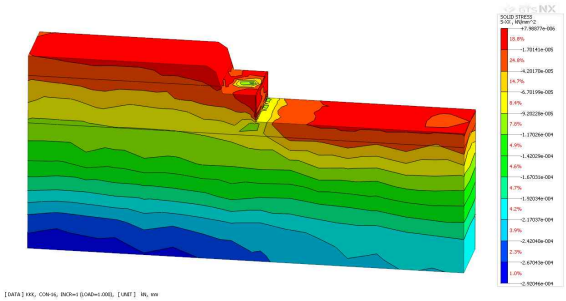
(1) 수평변위 분포도



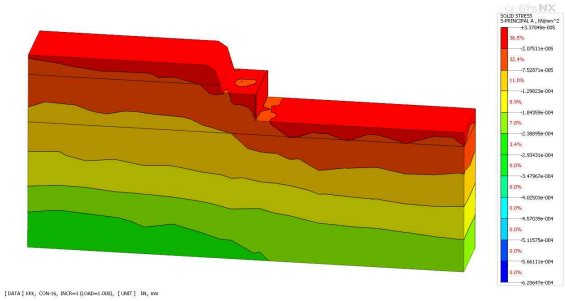
(2) 연직변위 분포도



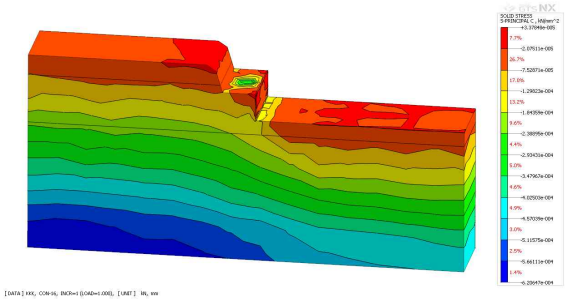
(3) 수평응력 분포도



(4) 연직응력 분포도



(5) 최대 주응력도



(6) 최소 주응력도

그림 3.77 Step 9 해석결과

(차) 지반변위 및 응력 검토결과 요약

- 수치해석 결과 지반의 최대 침하량은 18.776mm로 재하판 하부에서 가장 큰 변위가 발생한 것으로 평가되었다.

- 수치해석 결과는 재하시험 시 계측결과 84.503mm(그림 3.60-(1))와 큰 차이를 보이는 것으로 보이나 재하시험 침하량 분석결과 중 그림 3.60-(4)의 탄-소성 침하곡선과 비교해 볼 때 재하시험 시 발생한 소성변형량을 제외한 탄성침하량 13.989mm와 유사한 결과가 도출되었다.

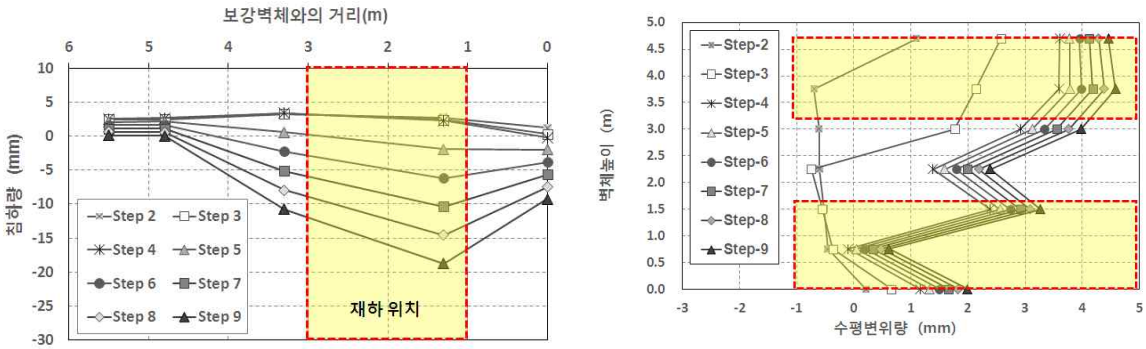
- 이는 연속체로 가정하고 수행되는 수치해석과 실제 흙 입자로 구성된 지반에서의 거동 차이로 판단되며, 수치해석 시 소성영역이 발생하지 않고 탄성범위 내에서만 변위가 발생하였기 때문에 대형재하시험 시 발생한 소성변위가 반영되지 않은 것으로 판단된다.

- 수치해석 결과 패널의 최대 수평변위는 4.581mm로 옹벽 최상단으로 부터 1.0m 하부에서 발생한 것으로 평가되었다.

- 계측결과가 옹벽 최상단으로 부터 2.25m 지점에서 17.0mm가 발생한 것으로 측정된 것과 비교해 볼 때 수평변위량 및 발생 위치 모두 상당한 차이를 나타낸다.

- 수평변위 및 수평변위의 발생위치의 차이 또한 연속체 해석과 실제 지반의 거동의 차이에서 기인한 것으로 판단되며 재하시험 시 옹벽 상단 일부구간에서 발생한 소성영역이 수치해석 시 반영되지 못하고 응력경로 및 응력의 분포상태의 차이가 발생하여 계측결과 보다 작은 변위 및 상부에서의 변위가 크게 분포한 것으로 판단된다.

- 단계별 연직변위 및 수평변위 분포는 다음 그림 3.78과 같다.



(1) 단계별 연직변위 분포 (2) 단계별 수평변위 분포

그림 3.78 해석단계별 변위 분포

(2) 보강재 및 패널 검토결과

(가) 보강재 축력 검토결과

- 수치해석에 의한 보강재의 축력 검토결과 최대 축력은 재하하중 5,000kN 재하 시 17.745kN으로 나타났다.

- 이는 설계축력 128.48kN의 13.81%에 해당하는 하중이며 계측결과 측정된 최대 축력 26.70kN의 66.46%에 해당하는 하중이다.

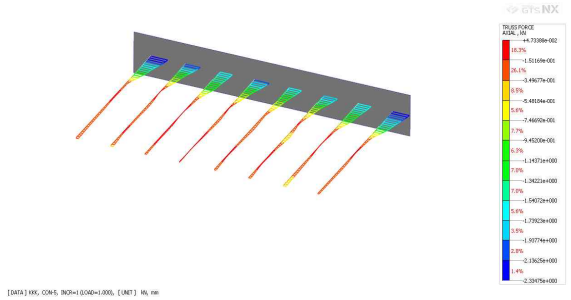
- 수치해석 결과와 계측결과의 차이는 지반변위 및 응력 검토결과와 동일한 경향을 나타내고 있으며 쏘일네일링 축력의 차이 역시 연속체로 가정하고 수행되는 수치해석과 실제 흙 입자로 구성된 지반에서의 거동차이 및 대형재하시험 시 발생된 소성변위에 의한 차이인 것으로 판단된다.

- 수치해석 결과 모든 단계에서 쏘일네일링의 축력은 설계축력 이내로 안정성을 확보하는 것으로 평가되다.

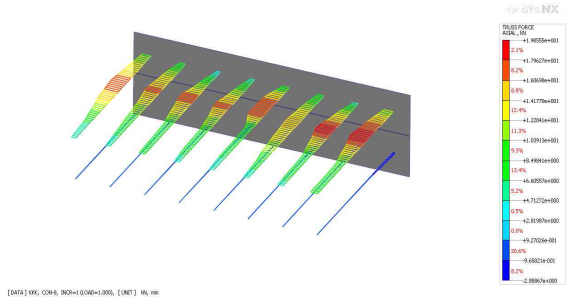
- 보강재 축력에 대한 수치해석 결과를 정리하면 다음 표 3.63 및 그림 3.79와 같다.

표 3.63 시공단계별 보강재 축력 검토결과

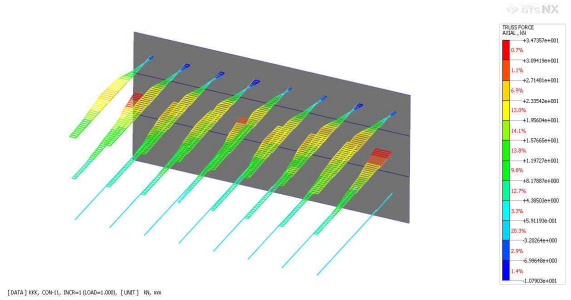
시공 단계	최대 축력 (kN)	설계축력 (kN)	검토 결과	
Step 2	2.335	128.48	1.82 %	O.K
Step 3	2.859		2.23 %	O.K
Step 4	10.790		8.40 %	O.K
Step 5	8.326		6.48 %	O.K
Step 6	7.418		5.59 %	O.K
Step 7	6.511		5.07 %	O.K
Step 8	11.400		8.87 %	O.K
Step 9	17.745		13.81 %	O.K



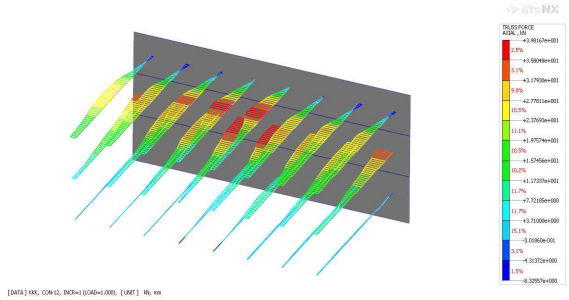
(1) Step 2



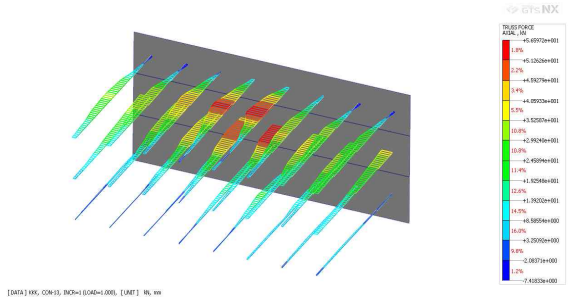
(2) Step 3



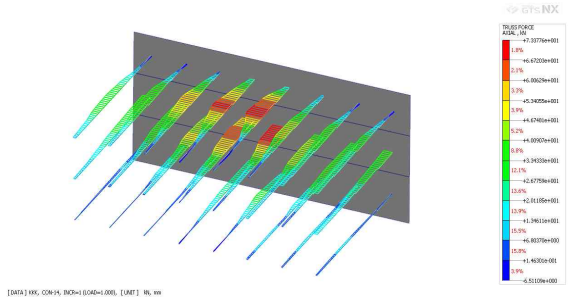
(3) Step 4



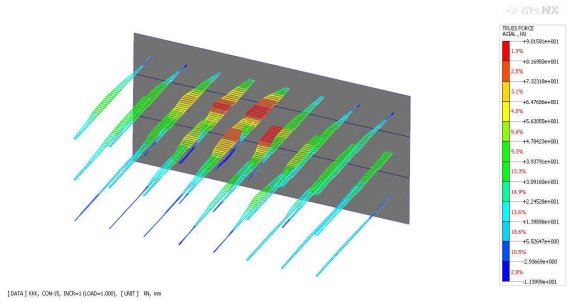
(4) Step 5



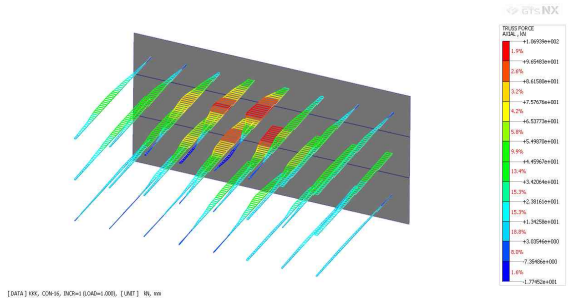
(5) Step 6



(6) Step 7



(7) Step 8



(8) Step 9

그림 3.79 해석단계별 쏘일네일링 축력

(나) 패널 응력 검토결과

- 수치해석에 의한 패널의 응력 검토결과 최대 응력은 재하하중 5,000kN 재하 시 최대 압축응력 2.159MPa, 최대 인장응력 0.213MPa, 최대 전단응력 0.123MPa로 평가되었다.

- 압축응력은 허용 압축응력의 22.49%, 인장응력은 허용 인장응력의 33.28%, 전단응력은 허용 전단응력의 31.54%에 해당하는 응력으로 모두 허용치 이내로 안정성을 확보하는 것으로 평가되었다.

- 패널의 응력 검토결과를 정리하면 다음 표 3.64 및 표 3.65와 같다.

표 3.64 패널 응력 검토결과

구 분	해석단계	발생응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	검토결과	
압축응력	Step 2	0.059	9.60	0.61 %	O.K
	Step 3	0.490		5.10 %	O.K
	Step 4	1.740		18.13 %	O.K
	Step 5	1.760		18.33 %	O.K
	Step 6	1.787		18.61 %	O.K
	Step 7	1.819		18.95 %	O.K
	Step 8	1.857		19.35 %	O.K
	Step 9	2.159		22.49 %	O.K
인장응력	Step 2	0.008	0.64	1.25 %	O.K
	Step 3	0.047		7.34 %	O.K
	Step 4	0.163		25.47 %	O.K
	Step 5	0.164		25.63 %	O.K
	Step 6	0.171		26.72 %	O.K
	Step 7	0.179		27.97 %	O.K
	Step 8	0.187		29.22 %	O.K
	Step 9	0.213		33.28 %	O.K
전단응력	Step 2	0.004	0.39	1.03 %	O.K
	Step 3	0.029		7.44 %	O.K
	Step 4	0.081		20.77 %	O.K
	Step 5	0.087		22.31 %	O.K
	Step 6	0.095		24.36 %	O.K
	Step 7	0.104		26.67 %	O.K
	Step 8	0.113		28.97 %	O.K
	Step 9	0.123		31.54 %	O.K

표 3.65 시공단계별 패널 응력 (계속)

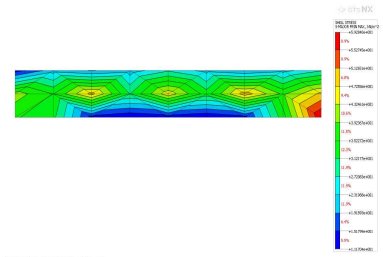
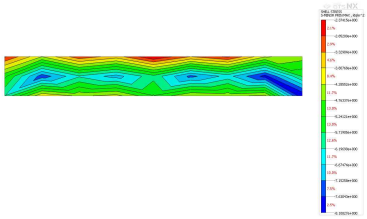
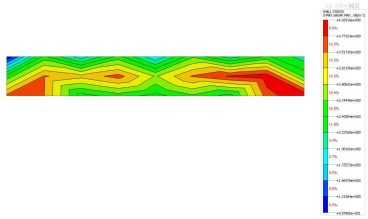
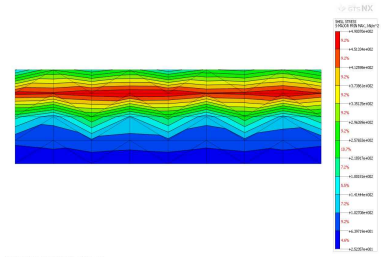
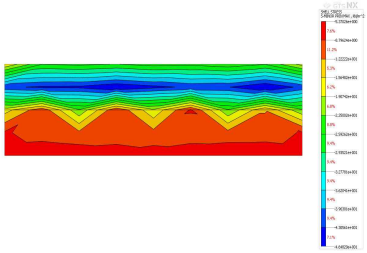
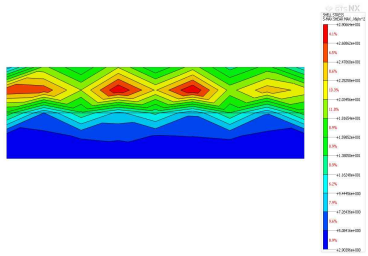
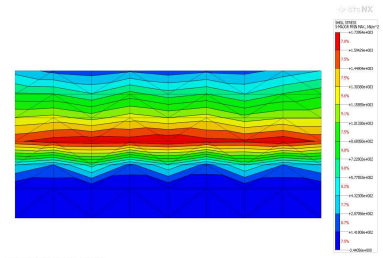
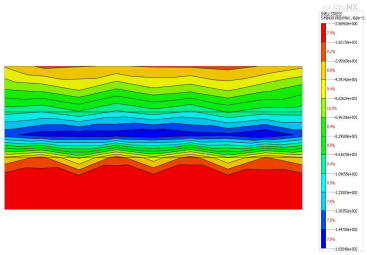
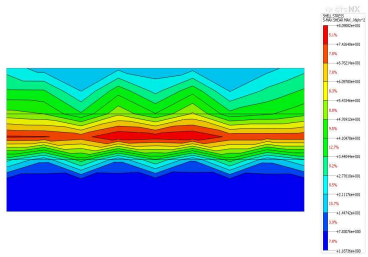
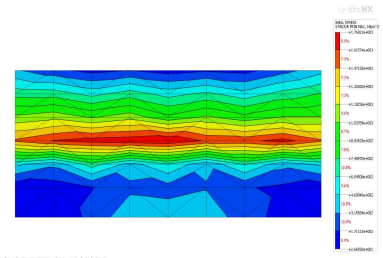
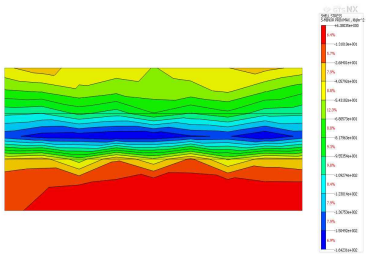
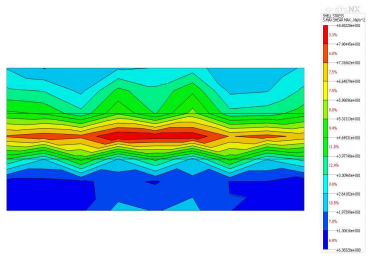
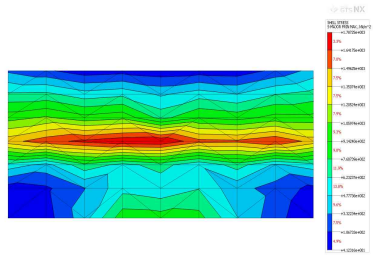
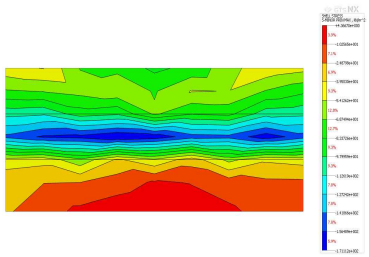
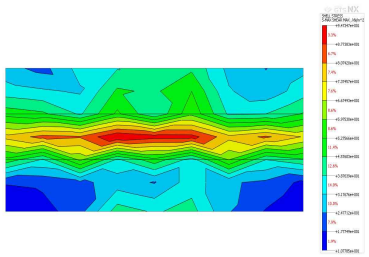
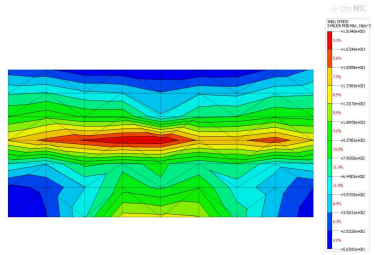
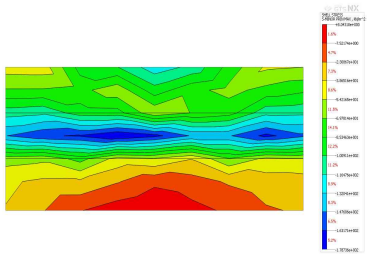
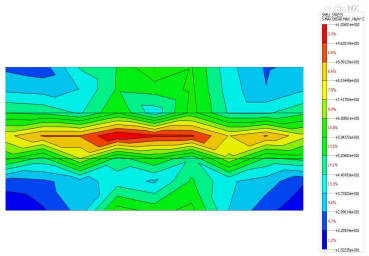
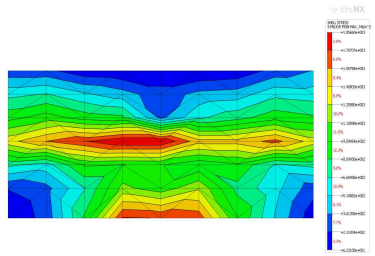
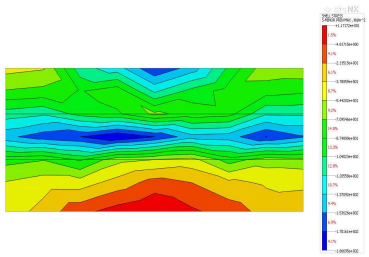
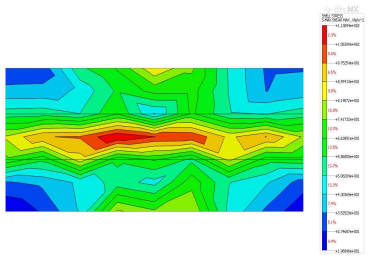
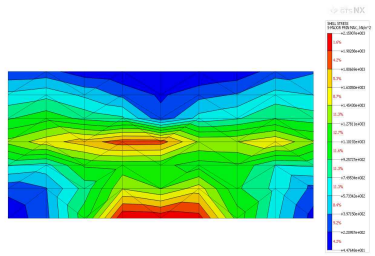
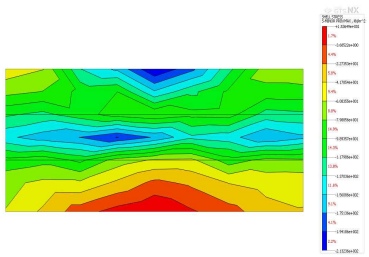
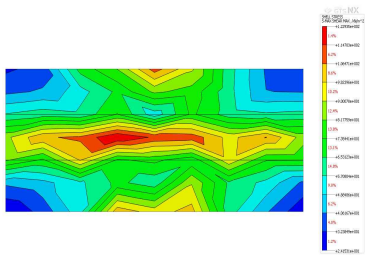
Step 2		
압축응력	인장응력	전단응력
		
Step 3		
압축응력	인장응력	전단응력
		
Step 4		
압축응력	인장응력	전단응력
		
Step 5		
압축응력	인장응력	전단응력
		

표 3.65 시공단계별 패널 응력

Step 6		
압축응력	인장응력	전단응력
		
Step 7		
압축응력	인장응력	전단응력
		
Step 8		
압축응력	인장응력	전단응력
		
Step 9		
압축응력	인장응력	전단응력
		

10. 개발공법의 경제성 분석

가. 경제성 분석 개요

- 개발공법의 가격 경쟁력을 확보하고 필요 시 원가절감 대책 수립과 타 공법 대비 경제적 우수성을 확인하기 위하여 개발공법에 대한 원가분석 및 경제성 분석을 수행하였다.

- 경제성 분석은 2016년 5월을 기준으로 국가공인 원가분석 전문기관인 (재)한국산업평가원에서 수행하였다.

- 경제성 분석근거 및 적용 기준은 다음 표 3.66과 같다.

표 3.66 경제성 분석 근거

구 분		분석 근거
조사 근거		• 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 • 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령 • 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행규칙 • 예정가격 작성기준 (기획재정부 계약예규 제281호, 2016.01.01) • 2016년 상반기 조달청 제비율 적용기준 (표준품셈, 2016) • 기타 조사자료 및 참고자료
산출 기준	재료비	• 재료비는 직접재료비와 간접재료비로 구분하고, 직접재료비는 조사대상의 실체를 형성하는 재료의 단가로 계상 • 간접재료비는 직접재료비로 계상되지 아니한 보조적으로 소요되는 소모성 재료비의 부담액으로 계상 • 간접재료비의 경우 일위대가 산출 시 직접재료비에 포함
	노무비	• 노무비는 직접노무비와 간접노무비로 구분하고, 직접노무비는 공사현장에서 해당 공법적용을 위하여 직접 작업에 종사하는 작업자의 노무비를 계상 • 간접노무비는 보수 및 교체작업에 직접 종사하지 않으나 작업현장에서 보조작업에 종사하는 노무자 및 관리감독자의 임금 및 급여의 부담액을 계상
	경 비	• 경비는 공사를 완성하기 위하여 소비된 순제조경비로서 공사의 완성을 위하여 소비된 공사원가에서 재료비, 노무비를 제외한 비용 중 조달청 공표 제비율 적용기준에서 인정하는 비목만을 기준으로 경비부담액을 산출
	일반관리비	• 일반관리비는 기업의 유지관리를 위한 관리활동부문의 제비용으로서 제조원가에 포함되지 아니한 영업비용 중 판매비를 제외한 순관리비로서 조달청 제비율 적용기준에서 정한 상한율을 초과하지 않는 범위내로 계상
	이 윤	• 이윤은 영업이익을 말하며 조달청 제비율 기준에서 정한 상한율을 초과하지 않는 범위내로 계상

나. 경제성분석 결과

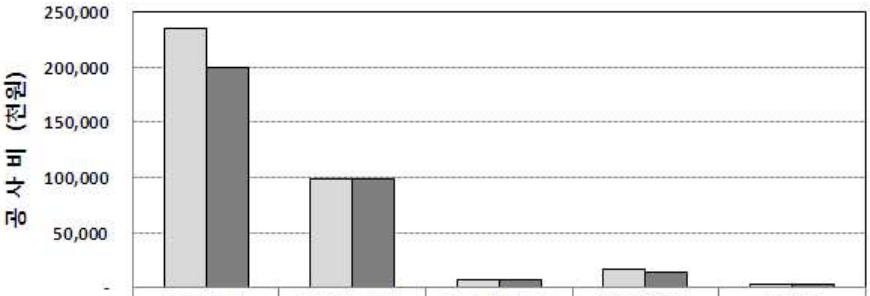
• 경제성 분석은 개발기술이 설계 반영된 청주 OO현장 설계수량을 적용하여 수행되었으며 그 결과는 다음 표 3.67과 같다.

표 3.67 경제성 분석 결과

구 분		규 격	단위	기존기술 (A)		개발기술 (B)		증감액		비 고
				수 량	금 액	수 량	금 액	(B-A)	%	
패널 설치	레벨링 콘크리트	레미콘 240-21-12	m^3	34	8,053	16	3,475	▼ 4,578	56.85	
	기초블럭	2.0m/본	본	87	17,006	-	-	▼ 17,006	100.00	공종 삭제
	패널	1.5×1.5m	EA	302	198,570	302	171,072	▼ 27,498	13.85	
	뒤채움	토사	m^3	805	11,158	-	-	▼ 11,158	100.00	공종 삭제
	속채움	몰탈 (1:3)	m^3	-	-	302	25,849	▲ 25,849	100.00	신규공종
	소계				234,787		200,396	▼ 34,391	14.65	
보강재 설치	천공 및 설치	Ø105mm	m	1,812	78,294	1,812	78,294	-	-	
	그라우팅	시멘트밀크	m^3	19	11,761	19	11,761	-	-	
	지압판 설치	250×250×9t	공	302	7,937	302	7,937	-	-	
	소계				97,992		97,992	-	-	
배수재 설치	배수시스템	쇄석, 유공관, Drain Board	식	1	7,718	1	2,220	▼ 5,498	71.24	
	수평배수공	Ø75mm	m	-	-	96	4,604	▲ 4,604	100.00	신규공종
	소계				7,718		6,824	▼ 894	11.58	
자재 운반	패널	1.5×1.5m	EA	302	13,645	302	13,645	-	-	
	기초블럭	2.0m/본	본	87	2,489	-	-	▼ 2,489	100.00	공종 삭제
	소계				16,134		13,645	▼ 2,489	15.43	
부대공	평떼	-	m^2	113	1,056	113	1,056	-	-	
	장비 조립 및 해체	1회/100m	회	3	2,178	3	2,178	-	-	
	소계				3,234		3,234	-	-	
공사비 산정	직접공사비				359,865		322,091	▼ 37,774	10.50	
	총공사비				525,889		470,688	▼ 55,201	10.50	

• 경제성 분석결과 개발기술은 기존 기술에 비해 전체적으로 10.50%의 공사비 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

• 항목별로 살펴보면 패널 설치, 배수재 설치 및 자재 운반에서 각각 14.65%, 11.58%, 15.43%의 공사비 절감효과가 있는 것으로 확인되었다(그림 3.80).

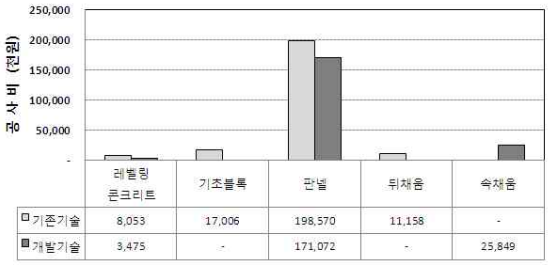


	판넬설치	보강재 설치	배수재 설치	자재 운반	부대공
기존기술	234,787	97,992	7,718	16,134	3,234
개발기술	200,396	97,992	6,824	13,645	3,234

그림 3.80 공종별 공사비 절감효과 비교

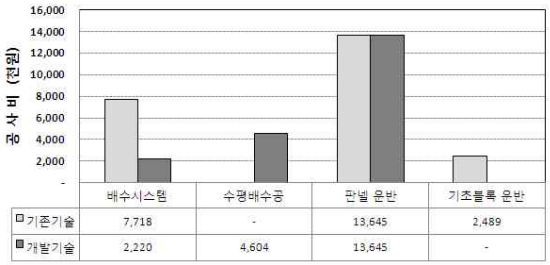
• 세부 공종별로 살펴보면 패널 설치공종의 경우 토사 뒤채움 대신 몰탈 뒤채움을 수행함으로써 약간의 공사비 증가가 발생하였으나 패널 경량화에 따른 기초블럭 공종 삭제, 패널 원가 절감에 따른 재료비 절감효과가 크게 영향을 미친 것으로 판단된다(그림 3.81-(1)).

• 또한 배수재 설치 및 자재운반 공종의 경우 개발기술에 수평배수공이 적용됨으로써 추가 공종 발생에 따른 공사비 상승 요인이 발생하였으나 수평배수공 설치에 따른 배면 배수 시스템의 간소화 및 기초블록 운반공종의 삭제로 이를 상쇄하였다(그림 3.81-(2)).



	레벨링 콘크리트	기초블록	판넬	뒤채움	속채움
기존기술	8,053	17,006	198,570	11,158	-
개발기술	3,475	-	171,072	-	25,849

(1) 패널 설치



	배수시스템	수평배수공	판넬 운반	기초블록 운반
기존기술	7,718	-	13,645	2,489
개발기술	2,220	4,604	13,645	-

(2) 배수재 설치 및 자재 운반

그림 3.81 세부공종별 공사비 절감효과 비교

• 본 경제성 분석은 순수한 패널식 옹벽 공사비만을 비교한 것으로 실제 현장 적용 시 토공량 감소에 따른 절토·사토 비용 및 용지보상비 절감 등을 감안할 경우 20% 이상의 공사비 절감 효과가 기대된다.

11. 연구개발 성과 요약

- 자연암반형 패널의 전면문양에 대하여 자연석 가공문양과 FRP 가공문양, 고강도 콘크리트 등 다양한 재료에 대한 검토를 수행하였으며 대량생산을 위한 금형 제작이 가능한 고강도 콘크리트를 이용하여 1차 시작품을 제작하였다.

- 1차 시작품에 대한 실내시험 결과 평균 파괴강도가 95.355kN으로 일반적인 쏘일네일링의 설계축력이 112kN~128kN임을 감안할 때 보강재 항복 전 패널 펀칭 또는 휨에 의한 옹벽 붕괴 가능성이 있는 것으로 평가되었다.

- 1차 시작품에 대한 현장 시험시공 결과 지중경사계 최대변위량 0.19mm, 패널에 작용하는 최대 토압 3.93kPa, 침하계의 최대 변위량 0.3mm로 패널식 옹벽으로 시공된 비탈면의 안정성에 영향을 미칠만한 심각한 토압 및 변위는 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

- 그러나 시공기술의 한계로 인하여 완전한 Top-Down 방식은 구현하지 못하였으며 완전한 Top-Down 시공을 위해서는 임시기초에 대한 처리방안, 연속적인 배수재 시공방법, 공기단축을 위한 패널 배면 채움재에 대한 검토가 필요한 것을 확인하였다.

- 1차 시작품에 대한 실내 및 현장시험 결과를 토대로 패널 및 시공방법을 개선하고 개선된 패널의 성능평가를 위해 2차 시제품을 제작하였으며 개선사항을 정리하면 다음 표 3.68과 같다.

표 3.68 2차 시제품 개선사항

구 분	1차 시작품 문제점	2차 시제품 개선사항
제작 몰드	• 전면 문양판 재질이 NR고무로 문양판 성형을 위해서 고가의 부대시설 필요	• 대기성형이 가능하고 재료비가 저렴한 우레탄 적용
	• 패널의 규격 및 형태 변경 시 추가몰드를 제작해야 하므로 제작단가 상승	• 패널의 규격 및 형태 변경이 가능한 몰드 탈부착식 가로막 제작
자연암반형 패널	• 보강재로 적용되는 쏘일네일링의 설계축력 이상의 강도 필요	• 사보강 및 전단철근 추가로 보강재에서 전달되는 하중을 패널 전체로 분산
	• 반 영구적인 색감 발현 필요	• 콘크리트 타설 전 안료와 착색제를 전면 문양판 및 콘크리트에 첨가
	• 두부 캡의 이질감 개선 필요	• 별도로 생산되던 두부 캡을 패널과 일체화 시켜 동일한 방법으로 생산
시공방법	• 임시기초 처리대책	• 원지반에 대한 정밀 레벨측량 후 합판 타격을 통한 임시기초 형성
	• 배수재의 연속성 확보	• 상부 배수재 설치 시 겹이음 길이를 확보하고 현장 발생토를 활용하여 배수재 보호
	• 공기단축을 위한 뒤채움 재료	• 조기강도 발현이 가능한 몰탈을 적용하여 양생시간 단축 (7일→1일)

• 2차 시제품에 대한 실내시험 결과 최소 144.508kN, 최대 148.642kN으로 평가되었으며 평균 146.007kN로 1차 시작품 대비 153.12%의 강도증가가 확인되었다.

• 파괴양상 또한 지압판을 중심으로 방사형태로 패널 전체에서 균열이 확인되어 사보강 및 전단철근의 하중분산효과를 확인하였으며 일반적인 쏘일네일링의 설계축력이 112kN~128kN 임을 감안할 때 보강재 항복 전 패널 파괴에 의한 옹벽붕괴는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

• 임시기초의 적용성과 배수재의 겹이음, 몰탈 뒤채움의 적용성을 확인하기 위하여 2차 시제품에 대한 현장 시험시공을 수행하였으며 시험시공 결과는 다음과 같다.

  - 임시기초의 효과를 확인하기 위하여 2단 굴착 후 상부 패널에 대한 레벨측량을 통하여 수평을 확인하였으며 오차범위 5.0mm로 패널 높이 대비 0.3%로 변위를 억제할 수 있음을 확인하였다.

  - 겹이음 길이 확보방안을 적용하여 상부 1단 패널 배면으로 부터 3단 하부 기초콘크리트에 설치되는 유공관까지 Drain Board를 끊김 없이 연속적인 배수 System을 확보함으로써 지하수의 전면 유출이 없는 배수 System을 확보하였다.

  - 일반적인 몰탈의 경우 1일 압축강도가 15MPa 이상으로 실제 시험시공 중 몰탈 1일 양생 후 하단 굴착을 수행하였으며 2단굴착, 3단굴착 시 상부패널의 변형 또는 파괴가 발생하지 않는 것을 확인하였다.

• 2차 시제품을 적용하여 시공된 옹벽 비탈면에 대한 대형 재하시험 결과 재하하중 5,000kN 이내에서 선형 탄성거동을 보이는 것으로 나타났으며 지반의 항복 또는 파괴 시 발생되는 소성변위의 급격한 증가는 나타나지 않았다.

• 대형재하시험 중 계측결과 옹벽 벽체의 변위, 쏘일네일링의 축력 및 발생 응력, 발생 토압, 지반 변위 모두 적정범위 이내로 평가되어 재하하중 5,000kN 범위 내에서 옹벽 구조물의 안정성이 확보되는 것을 확인하였다.

• 대형 재하시험 시 비탈면에 적용된 하중을 응력단위로 환산하면 재하판의 크기가 6.0m^2임을 감안할 때 약 833.33kN/m^2이며 일반적인 흙의 단위중량을 19kN/m3으로 가정할 경우 최대 43.86m의 비탈면 형성이 가능할 것으로 판단된다.

• 개발공법에 대한 경제성 분석 결과 기존 기술에 비해 전체적으로 10.50%의 공사비 절감효과가 있는 것으로 확인되었으며 토공량 감소에 따른 절토·사토 비용 및 용지보상비 절감 등을 감안할 경우 20% 이상의 공사비 절감 효과가 기대된다.

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

표 4.1 목표 달성도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준						해당 기관	양적 성과 달성 건수	
					질적 성과지표		목표치	측정방법	검증방법	가중치			
총괄	A	자료 조사	A-1	자료조사	①	자료조사	1식	분석보고서	분석보고서	0.02	주관 공동 위탁	분석보고서	1식
	B	패널 제작	B-1	패널 설계 및 제작	①	시작품 제작	1건	설계도면	실물제작	0.10	주관 공동	특허출원 특허등록 1차 시작품 공인성적서	1건 1건 1식 1식
					②	패널 규격	1.5×1.5 이상	규격측정	공인기관 시험성적서	0.07			
					③	패널 강도	24MPa 이상	실내시험	공인기관 시험성적서	0.07			
					④	패널 무게	800kgf 이하	무게측정	공인기관 시험성적서	0.07			
	C	보강재 선정	C-1	보강재 선정	①	보강재 선정	1건	설계도면	설계도면	0.05	주관 공동	설계도면 2차 시제품	1식 1식
			C-2	시제품 제작	①	보강재 제작	1건		실물제작	0.10			
	D	공법 검증	D-1	실내시험	①	실내시험 결과	1식	시험계측	공인기관 시험성적서	0.10	주관 공동 위탁	공인성적서 해석보고서	1식 2식
			D-2	현장시험	①	현장시험 결과	1식	시험계측	공인기관 시험성적서	0.10			
			D-3	수치해석	①	수치해석 결과	1식	해석보고서	해석보고서	0.08			
			D-4	경제성 분석	①	분석 결과	1식	분석보고서	분석보고서	0.07	주관	보고서	1식
	E	연구 홍보	E-1	학술지 게재	①	학술지 논문	1편	논문 편수	논문 편수	0.04	주관	학술논문	1편
			E-2	전시회 참가	①	전시회 참가	1회	참가횟수	참가증빙	0.04	주관	전시회참가	2회
	F	상용화	F-1	해외시장조사	①	해외시장 조사	1식	조사보고서	공인기관 조사보고서	0.03	위탁	조사보고서	1식
			F-2	건설신기술 신청	①	건설신기술 신청	지정신청	지정신청	신청증빙	0.06	주관	지정신청	-
계										0.94			

제 5 장 연구개발성과의 활용계획

1. 국내외 시장 전망

가. 국내 시장 현황 및 전망

- 산지가 70% 이상인 국내 지형조건상 건설공사를 위해서는 자연지반을 일부 깎아서 부지를 형성하는 것이 필수적이다.

- 특히 도로와 철도는 산악지형을 통과하는 경우가 많으므로 지형 특성에 따라 급경사 지역에서의 대절토 비탈면의 형성으로 토공량 증가에 따른 공기지연 및 공사비 증가, 환경훼손 등의 문제가 빈번히 발생하고 있는 실정이다.

- 이러한 대규모 비탈면 형성에 따른 토공량의 증가와 환경훼손을 방지하기 위하여 최근 패널식 옹벽에 대한 관심이 높아지고 있으며 그 적용사례 또한 꾸준히 증가하고 있는 추세에 있다.

- 국내 건설 수주 전망을 살펴보면 2013년 이전까지 공공 토목수주 및 민간 토목수주의 증가율은 하락세를 보이다가 2014년부터 상승세로 전환하였다.

- 이는 대형 플랜트 공사발주, 공약사업 발주, 거시경제 회복과 대기업 설비투자 영향으로 증가한 것으로 분석되며, 이로 인해 2015년 건설 수주는 전년대비 4.9% 증가한 약 110조원이었으며 향후 증가할 전망이다(표 5.1).

표 5.1 토목수주 증감율 **(단위 : 조원, %)**

구 분	2012년(증감율)	2013년(증감율)	2014년(증감율)	2015년
공공건설	34.1(-7.0)	36.2(6.1)	39.5(9.2)	40.3(2.0%)
민간건설	67.4(-9.0)	55.1(-18.2)	65.4(18.6)	69.7(6.6%)
토목(공공+민간)	35.7(-8.1)	29.9(-16.2)	32.6(8.9)	34.0(4.3%)
건축	65.8(-8.4)	61.4(-6.7)	72.3(17.8)	76.0(5.1%)
총계	101.5(-23.1)	91.3(-10.0)	104.9(14.9)	110.0(4.9%)

- 정부의 2016년 SOC(Social Overhead Capital) 계획을 살펴보면, 국토교통부는 2015년 도로, 철도, 항만 등 교통 SOC 예산 대비 약 -3.9% 감소한 15.9조원을 편성하였지만 2014년 SOC예산 대비 약 4.0% 증액되었다. 또한 고속도로, 국토 등 주요 간선도로망 구축과 일반철도 및 고속철도 건설에 중점을 두어 예산을 편성하였다(표 5.2).

표 5.2 국토교통부 2016년 예산편성 (단위 : 억원, %)

구 분	2014년	2015년	2016년	전년대비	증가율
도로	83,912	90,173	82,803	-7,370	-8.2
철도	68,032	74,051	74,646	595	0.8
항만, 공항	1,008	1,360	1,642	282	20.7
총계	152,952	165,584	159,091	-6,493	-3.9

나. 국외 시장 현황 및 전망

• 해외 건설시장 규모는 2009년 기준 약 8조달러로 추정되며, 연평균 4.5% 성장하여 2020년 시장규모가 12.7조달러로 예상된다. 이는 신흥국의 성장강세로 세계 건설시장의 성장을 주도하고 있으며, 특히 아시아의 성장세가 큰 비중을 차지하는 것으로 조사되었다.

표 5.3 해외 건설시장 규모 (단위 : 십억달러, %)

구 분	2008년	2020년	연평균성장률
세계 건설시장	7,500	12,700	4.5
선진국	4.200	5.700	2.6
신흥국	3.300	7.000	6.5

• 아시아 중 베트남 건설시장은 건설업의 국제 금융기관의 지원확대, 석유자원 개발 등에 의한 외국기업 진출 증가, 산업육성을 위한 기초 인프라 건설 등으로 지속적인 성장이 진행될 것으로 전망됨에 따라 2014년 약 10억 달러에서 2020년 약 20억 달러 규모로 성장할 것으로 기대된다.

• 베트남의 도로 총 연장은 188,744km(2010년)이며, 포장율은 42%. 베트남은 도로인프라 개발계획 시행령(No. 1734/QD-TTg)에 따라 남북 고속도로 체계 및 주요 도시를 연결하는 22개 노선에 총 5,873km 도로건설 계획이 있어 향후 베트남 시장으로의 진출 가능성도 배제할 수 없다.

• 이러한 국내외 건설시장 상승세에 발맞춰 비탈면의 안정성을 확보함과 동시에 부지활용도를 극대화 시킬 수 있는 패널식 옹벽에 대한 수요가 계속 증가할 것으로 예상되며, 국민 생활수준 향상에 따른 환경보존 및 쾌적한 주거환경에 대한 요구가 확대됨에 따라 친환경 옹벽에 대한 관심 또한 증가할 것으로 판단된다.

2. 사업화 추진

가. 사업화 추진 전략

- 최근 발표되고 있는 국가 인프라 구축사업의 특징은 도심을 벗어난 외곽에서 차츰 도심 구간으로 그 영역을 좁혀오고 있다.

- 이에 발맞춰 환경 친화적인 기술적 특징과 경제성을 겸비한 자연암반형 패널식 옹벽의 사업성은 매우 높다.

- 기존 연구와 특허동향 분석에서 확인된 바와 같이 개발기술과 관련된 패널식 옹벽 분야는 기술 도입기부터 개발연구가 미진한 상태로 사업화 되어 있는 실정이다.

- 이에 금번 연구를 통해서 경제성이 높은 옹벽의 개발은 절토부 옹벽분야에 새로운 틈새 시장을 개척할 수 있을 것으로 전망된다.

- 해외시장 진출에 있어서도 절토부 옹벽은 연구개발이 활발하지 않기 때문에 새로운 기술에 대한 적극적 홍보만 뒷받침된다면 해외진출이 가능할 것으로 전망된다.

- 특히, 베트남과 같은 동남아 개발도상국을 주요 타깃으로 마케팅을 수행한다면 성과가 있을 것으로 판단된다.

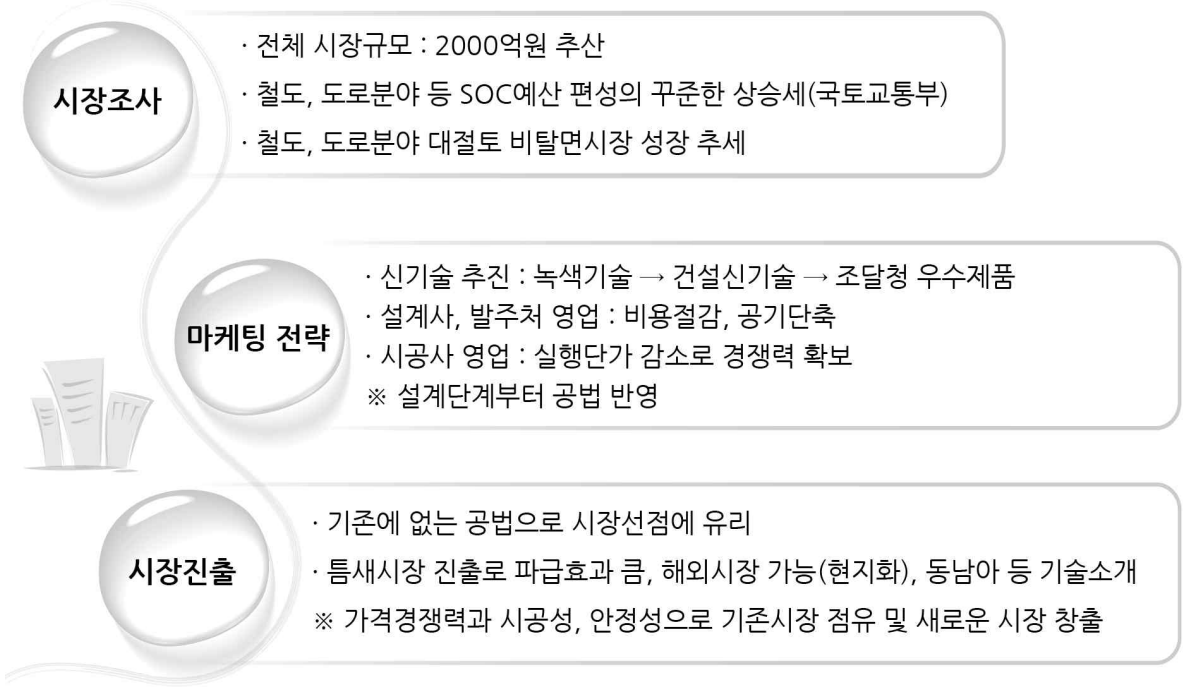


그림 5.1 사업화 추진 전략

나. SWOT분석

• 본 과제에서 수행한 SWOT분석 결과는 다음의 표와 같으며, 사업화를 위해 도출된 각각의 세부 전략은 아래와 같다.

표 5.4 SWOT분석

S : 강점(Strength)	W : 약점(Weakness)
1. 패널식 옹벽, 지반보강 분야의 높은 기술역량, 시공경험 보유 2. 설계, 시공, 컨설팅 전문분야 인력구성 3. 가격경쟁력 확보	1. 전면문양 표현기술 경험부족 2. 패널금형 전문제작 협력업체 부족 3. 마케팅 전문 인력 부족 4. 해외시장 진출 경험 부족
O : 기회(Opportunity)	**T 위협(Threat)**
1. 친환경정책에 따른 친환경공법 선호 2. 자연환경훼손 최소화, 부지활용 극대화를 위하여 절토부 패널식 옹벽 수요 증가 3. 국내 건설사 해외 진출 활발	1. 업체 간 신기술 인증 경쟁 2. 저가 입찰에 따른 공사원가 하락 3. 시장 진출 시 신규 기술에 대한 진입 장벽

(1) S-O(강점-기회) 전략

• 전 세계적으로 친환경 건설공법을 선호하는 시점에 본과제의 기술에 대한 친환경 옹벽공법의 신기술 인증으로 경쟁우위 확보가 필요하며, 기술의 안정성, 시공성, 경제성 향상을 위해 제작 및 시공 공정의 개선이 필요하다.

(2) S-T(강점-위협) 전략

• 업체 간 신기술 인증 경쟁에 우위를 차지하기 위해 관련업체와 전략적 협업관계를 구축하고 내부 연구 및 기술 인력의 역량을 강화하여 경쟁력을 확보할 필요가 있다.

• 시장 진출 시 신규 기술에 대한 진입장벽 해소를 위하여 발주처를 대상으로 개발기술에 대한 지속적인 홍보를 할 필요가 있다.

(3) W-O(약점-기회) 전략

• 프리캐스트 자연질감 표현기술 및 전문제작 협력업체 부족과 마케팅 전문 인력 부족은 본 과제를 진행하면서 다양한 네트워크 구성과 인력확보를 통해 보완이 필요하다. 해외시장 진출 경험부족은 정부 및 해외건설협회 등의 지원 정책을 최대한 활용하고 필요자금 또한 정부의 정책자금을 활용하여 해외진출 전략을 수립할 필요가 있다.

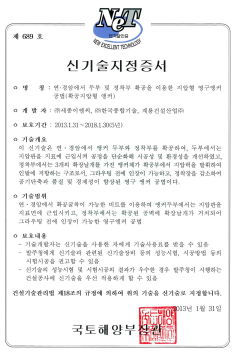
(4) W-T(약점-위협) 전략

• 산학연과의 협력 체계 구축을 통해 신기술 트렌드 파악과 기술개발 역량을 강화할 필요가 있으며, 해외진출 국내 기업 및 현지 기업과 협업 강화를 통해 시장 진입장벽 해소와 전략적 진출을 도모해야 할 것이다.

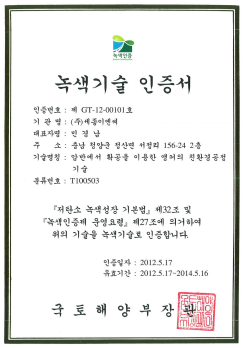
3. 기업 내 활용방안

- (주)세종이엔씨는 토목엔지니어링 서비스업과 토목시공을 병행하고 있고, 상시 근로자수는 30명이다. 많은 경험을 가진 토목시공기술사, 지질 및 지반 기술사, 및 토목분야 특급 기술자를 다수 보유하여 업무의 효율성을 극대화 하고 있다.

- 또한 전체 매출의 50% 이상이 비탈면 설계 및 컨설팅, 비탈면 보강공사에서 발생하고 있으며 비탈면 보강 관련 건설신기술(제689호), 녹색기술(GT-12-00101호), 철도신기술(2011-002호, 2010-0036호) 등 다수의 신기술 및 인증을 보유하고 있다.

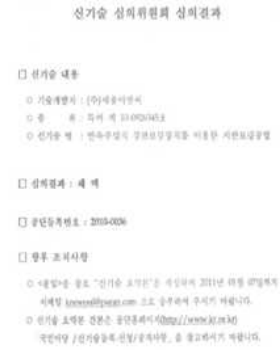


(1) 건설신기술



(2) 녹색기술

(3) 철도신기술-앵커



(4) 철도신기술-쏘일네일링

그림 5.2 주관연구기관 보유 신기술 인증

- 주관연구기관은 본 연구를 통하여 개발된 '자연암반형 판넬을 이용한 원지반 부착식 옹벽'에 대하여 연구기간 내 이미 시공실적을 확보하였으며 실제 현장적용을 통하여 패널식 옹벽에 대한 노하우를 축적하고 있다.

- 본 연구를 통해 습득한 패널식 옹벽에 대한 상세한 조사와 해석, 분석 및 시공공정 단축 노하우와 시공실적을 바탕으로 올해 건설신기술 인증을 목표로 하고 있다. 연구기간 종료 후에도 공법의 완성도를 높이기 위한 추가연구를 계속 진행할 예정이다.

- 또한, 개발공법의 다변화 및 차별화, 선진화를 위하여 주관연구기관이 기 보유하고 있는 비탈면 보강 관련 신기술 및 특허와의 융·복합 기술개발을 진행할 예정이다.

- 이러한 설계 및 시공기술 개선에 대한 노하우 및 추가연구는 본 개발공법 뿐만 아니라 현재 경험적으로 설계되고 있는 수많은 전문공법의 공정개선이나 부품, 재료, 시스템의 설계기법 개선에 전환점이 될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 마케팅 전략 수립

가. 시장환경 분석

(1) 3C 분석

- 마케팅 전략 수립을 위하여 자사(Company), 고객(Customer), 경쟁사(Competitor) 분석을 통하여 전략적 과제를 도출하였다.

표 5.5 3C분석

자사(Company)	고객(Customer)	경쟁사(Competitor)
• 안정성, 시공성, 경제성 높은 공법 개발 완료 • 사면보강, 광해사업 역량 우수 • 옹벽기술 베트남 진출 계획	• 안정성, 시공성, 경제성 우수 공법 선호 • 자연친화적인 건설신기술 선호 • 비탈면 품질관리, 표준 시방서 작업	• 옹벽, 보강재 등 신기술개발 경쟁 • 건설사, 엔지니어링사와 협력관계 • 안정성, 시공성 개선으로 가격경쟁

- 고객(Customer)은 안정성, 시공성 및 경제성이 우수한 공법을 선호하며 특히 비탈면 품질관리 및 표준 시방서 등의 메뉴얼이 갖춰진 기술을 선호하는 경향을 나타낸다.

- 또한, 이미 패널식 옹벽 시장에 진입해 있는 경쟁사(Competitor)들은 신기술 개발 경쟁을 벌이고 있으며 건설사 및 엔지니어링사와의 협력관계를 구축하고 있는 실정이다.

- 현재 주관연구기관은 본 연구과제를 통하여 안정성, 시공성, 경제성이 우수한 공법 개발을 완료한 상태이며 이미 비탈면 보강 및 광해방지 분야에서 우수한 역량을 가지고 있다.

- 그리고 개발공법에 대한 실내 및 현장시험, 개발공법의 설계기법 정립, 개발공법에 대한 전문시방서 정립을 통하여 고객의 신뢰를 획득할 수 있는 모든 조건을 갖추고 있는 상태이다.

- 향후 발주처, 건설사 및 엔지니어링사에 대한 기술홍보를 통하여 협력관계를 구축하고 공법의 인지도를 높이기 위한 마케팅 전략이 필요할 것으로 판단된다. 이에 따라 건설신기술 지정이 시급한 선결 과제인 것으로 판단된다.

- 또한 본 연구의 성과 중 설계기법 및 전문시방서에 대하여 국가 공인 설계기준 및 표준시방서 수록을 통하여 공신력을 확보할 수 있는 방안을 마련한다면 기존 경쟁사들이 점유하고 있는 시장에 대한 진입이 훨씬 수월할 것으로 판단된다.

(2) PCL(Product Life Cycle) 분석

• 자연암반형 패널을 이용한 원지반 부착식 옹벽 기술의 Life-Cycle은 성장 초기단계에 있다. 개발공법과 관련하여 현재, 지구 온난화 등에 따른 온실가스 배출 규제 등 환경 친화적인 다양한 옹벽관련 신기술들이 개발되고 활용되고 있다(그림 5.3).

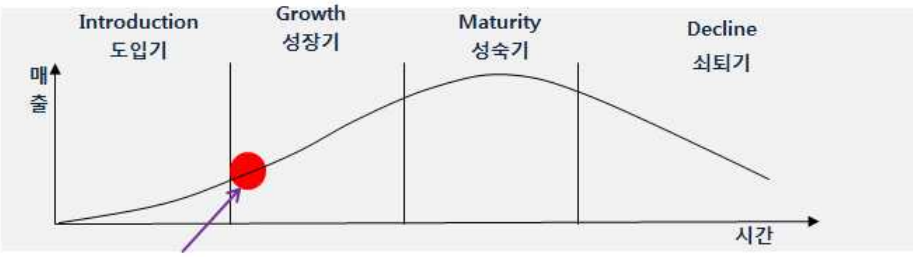


그림 5.3 환경 친화적 옹벽공법의 PCL

표 5.6 성장 초기 기술의 특징 및 전략

구 분	특징 및 전략
시장 특성	• 시장의 성장과 유사기술에 의한 경쟁사 신규 진입 활발 • 제품의 성능 및 기능을 통한 경쟁 치열
전략 목표	• 제품의 차별화 전략과 함께 제품의 포지셔닝 확립 • 시장 점유율을 선점하기 위한 전시회 및 제품홍보 확대, 신뢰성 제고
매출액	• 초기에 완만하게 증가하다 이후 급속히 증가하는 경향
원 가	• 평균 원가 감소
수 익	• 수익 증가
경쟁자	• 점진적으로 증가하여 다수를 형성하게 됨
마케팅	• 홍보 및 영업활동 활발, 시장을 세분화하여 틈새시장 전략 전개 • 시장 선점과 매출 증대를 위한 고객관리 프로그램 도입 및 실행 • 전시회, 학술발표회 등을 통한 제품 우수성 인지 〉 구전효과 확대

• 성장초기에 있는 친환경 옹벽공법에 대한 마케팅 전략은 다음과 같다.

① 시장에 유사기술을 가진 신규 진입자가 늘어나며 치열한 경쟁을 벌이게 됨에 따라 제품의 기능적인 차별적 우위를 적극 홍보해야 함

→ 제품의 품질을 통한 신뢰성 제고, 고객과의 Networking 강화, 철저한 A/S 등으로 경쟁 우위를 확보하도록 함

② 옹벽구축의 안정성, 시공성, 경제성 등에 있어 신뢰성을 제고시킴

③ 건설사, 엔지니어링사와 전략적인 파트너십 관계를 구축하여 시장 진입의 장애요인 최소화 및 효과적인 진입을 도모함

나. 국내 수요처 조사

(1) 조사 개요

• 개발기술의 실수요처를 발굴하고, 국내 실수요처의 요구 사항을 파악하여 적합한 마케팅 전략을 수립하기 위하여 국내 수요처를 대상으로 개발기술에 대하여 설문조사를 진행하였다.

(2) 조사 내용 및 범위

(가) 조사 내용

• 절토부 옹벽 공법에 있어 신규 옹벽개발 공법에 대한 수용 태도
• 옹벽공법 선정 시 중요한 점 및 신규 옹벽교체에 대한 태도
• 옹벽공법 변경 시 장애 요인
• 현재 옹벽공법 운영의 애로 사항 및 기타 의견

(나) 설문지 구성

• 제품 개요 : 제품특성 및 제품사양
• 자연암반형 패널을 이용한 원지반 부착식 옹벽 및 시공방법 관련 설문 6문항으로 구성
• 응답자 특성 관련 문항

표 5.7 설문지 구성

구 분	문 항	문항 수
절토부옹벽 공법 관련	• 기존 패널식 옹벽공법 변경 계획	1
	• 패널식 옹벽공법 변경 시 고려사항	1
	• 자연암반형 패널을 이용한 원지반 부착식 옹벽공법에 대한 태도	1
	• 패널식 옹벽공법 변경 시 장애요인	1
	• 현재 패널식옹벽공법 운영의 애로사항	1
	• 기타 의견	1
응답자특성	• 기관명, 부서명, 연락처	1

(3) 설문조사 분석 결과

- 본 설문조사에 참여한 응답자 수는 21명이며, 응답자는 국내 건설회사에서 토목, 엔지니어링 업무를 담당하고 있다.

(가) 패널식 옹벽공법 변경 계획

- 응답자의 57.1%가 기존에 사용하고 있는 절토부 옹벽공법에 대한 변경 계획안을 가지고 있다고 응답하였다.

- 국내 건설 및 토목 관련 업체에 대해 새로 개발한 옹벽공법에 대한 적극적인 홍보 활동이 필요한 것으로 판단된다.

(나) 패널식 옹벽공법 교체 의사결정에 있어 고려사항

- 도로건설 또는 지반구축 등에서 실시되는 옹벽작업에 있어 건설의 안정성과 경제성을 가장 중요하게 생각하고 있는 것으로 나타났다.

- 공사기간 단축, 친환경성, A/S 지원, 신기술보다 옹벽의 파손, 손상, 균열 등에 대한 옹벽의 안정성과 설치비용이 기존 옹벽공법을 변경하는데 있어 높은 영향력을 미친다고 할 수 있다.

- 안정성과 경제성은 상황에 따라 서로 대치되는 개념으로 이해될 수 있는데 이에 적절한 제품의 특징과 메시지 개발을 통해 신기술 옹벽공법 수용도를 높일 수 있는 전략이 필요한 것으로 보임

(다) 개발공법에 대한 의견

- 자연암반형 패널을 이용한 원지반 부착식 옹벽에 대한 수용도는 높다고 평가된다.

- 제품에 대한 간략한 설명으로 신기술 옹벽공법에 대한 긍정적인 태도는 제품의 차별성, 경쟁력 등의 메시지를 어떻게 전개하느냐에 따라 제품수요는 높게 나타날 것으로 기대된다.

(라) 옹벽공법 변경의 장애요인과 현재 운영에 있어 애로사항

- 옹벽공법을 변경하는데 있어 가장 먼저 생각하는 것은 신뢰성과 안정성이며 예산 증가는 그리 큰 영향을 미치지 못하고 있어 신개발 옹벽공법 대한 신뢰성과 안정성에 대한 전략 메시지를 개발해 제품 판매활동을 전개할 필요가 있다.

- 현재 옹벽공법을 운영하는데 있어 가장 큰 애로사항으로 설치 및 관리비용을 들고 있다. 이에 옹벽시설의 유지관리에 관한 기술과 방법을 체계화하고, 새로운 유지관리 기술의 제공이 필요한 것으로 보인다.

- 또한 옹벽시설의 안전관리 절차, 방법 등을 기술공학적 측면에서의 형식적인 관리가 아닌 실제적인 절차와 방법에 따라 안전관리가 수행될 수 있는 가이드라인이 필요한 것으로 분석된다.

다. 마케팅 믹스 (Marketing Mix)

(1) 마케팅 믹스 전략방향

- 마케팅 목표 실현을 위한 마케팅 믹스의 제품(Product), 가격(Price), 유통(Place), 프로모션(Promotion) 가이드 라인을 제시

- 효과적인 마케팅 믹스 전략 수립을 위해 앤소프 (Igor Ansoff) Matrix 분석을 통해 마케팅 전략 방향을 설정함

	기존 제품	신제품
기존 시장	시장 침투전략	**제품 개발전략**
신 시장	신시장 개척전략	다각화 전략

그림 5.4 앤소프 (Igor Ansoff) Matrix

- 앤소프 매트릭스에 따르면 자연암반형 판넬을 이용한 원지반 부착식옹벽 공법은 신기술 개발 제품으로 기존 시장에 신제품을 런칭하는 '제품개발 전략'이라고 할 수 있다.

- 또한 주관연구기관 입장에서 보면 기존 사업과는 다른 자연암반형 옹벽 시장에 진출하려는 다각화전략이라고 할 수 있다.

- 그러나 수용자 입장에서는 패널식 옹벽시장은 이미 형성되어 있고 다양한 옹벽공법이 사용되고 있어 개발공법은 신공법으로 인식되지 않을 것으로 판단된다.

- 제품개발은 기존 시장에 신제품을 런칭하는 전략으로 고객 충성도 (Customer Loyalty)를 활용하여 기존 시장에 새로운 제품 또는 서비스의 개발을 알려야 한다.

- 따라서 고객 충성도 구축할 수 있도록 철저한 고객 관리가 필요하며 기존 제품과 서비스에 대한 충성도가 신제품으로 자연스럽게 연결되어 제품 스위칭(Product Switching)의 선순환 구조가 이루어지도록 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

(2) 마케팅 믹스 전략

(가) 제품(Product) 전략

- 개발 공법의 라이프사이클은 '성장 초기'로 쾌적한 주거환경과 경관성 확보를 위한 친환경 건설기술의 니즈에 따른 전략제품이라고 할 수 있다.

- 시대의 트렌드에 따른 자연친화적 공법으로 자연암반형 판넬을 이용한 원지반 부착식 옹벽 공법은 안정성, 시공성, 경제성이 높은 신기술이라고 할 수 있다.

- 개발공법의 경쟁력 및 지속적인 성장을 위해 향후 자연친화적 재료를 사용한 패널 제작 및 기상이변, 시간 경과에 따른 부식 등 유지관리를 위한 계측기술과의 접목을 통하여 패널식 옹벽의 안정성을 높이도록 해야 할 것으로 판단된다.

- 성장초기의 개발공법의 제품전략은 다음과 같다.
  - 제품의 기능적 특성 홍보를 통한 옹벽공법 인지도 제고
  - 기존 옹벽공법과 차별화되는 속성을 제시하고 경쟁 우위의 포지셔닝 확립
  - 고객 니즈를 분석하고 이를 세분화하여 작업의 안정성, 시공성, 경제성, 환경성 등을 제시하는 고객 밀착형 제품으로 시장 진입장벽을 낮춤
  - 제품의 우수성을 입증할 수 있는 신기술 인증을 확보
  - 개발기술의 틈새특허 출원으로 공법의 경쟁력을 강화

- 개발공법의 제품 차별적 요소로는 다음과 같다
  - 패널을 원지반에 직접 부착하기 때문에 패널 배면의 터파기, 되메움이 불필요
  - Top-down, Bottom-up 모두 시공 가능
  - 지반유형에 따라 Soil Nail, 가압식 강관네일 등의 다양한 보강재를 사용할 수 있어 작업의 효율성과 경제성 증가
  - 비탈면의 수직면, 경사면 모두 시공 가능
  - 자연암반형 패널 사용으로 주변 환경과의 경관성 제고

(나) 가격(Price) 전략

- 개발 공법은 발주처 입장에서는 후발제품으로 공법의 시용성(施用性)을 높이고 시장의 빠른 침투를 위해 경쟁 제품보다 낮은 가격으로 시장에 런칭이 필요하다.

- 너무 낮은 가격은 품질에 대한 의구심을 가져오기 때문에 생산원가 등을 고려하여 기존 옹벽공법 대비 약 80~ 90% 낮은 수준에서 가격을 책정하여 시장 진입이 원활하게 이루어지도록 한다.

- 이후 시장에 안정적으로 진입한 뒤 일정 규모의 시장점유율을 확보한 후 추가 기술 개발 및 공정개선을 통해 이익을 극대화하도록 전략적으로 가격을 재설정할 필요가 있다.

(다) 유통(Place) 전략

- 패널식 옹벽과 관련된 사업의 발주 기관으로는 각 지방 국토관리청, 한국도로공사, 한국철도시설공단, 한국토지주택공사 및 각 지방도시공사 등이 있으며 사업 참여기관으로는 건설사 및 엔지니어링사가 있다.

- 따라서 개발공법의 사업 참여를 위해서는 사업 참여기기관인 건설사 및 엔지니어링사와 와 전략적 파트너십 관계를 구축할 필요가 있다.

- 개발공법은 아직 인지도가 낮은 관계로 기술적 경쟁우위, 경제성, 기대효과 등을 중심으로 파트너십 관계를 구축하고자 하는 기업을 선정하여 집중 공략하는 방법이 요구될 것으로 판단된다.

- 또한 해외진출 경험이 부족하므로 단독으로 베트남 시장에 진출하는 것은 어려움이 있을 것으로 판단되며 이에 베트남 시장에 진출해 있는 국내 업체와 전략적 관계를 형성하여 win-win전략으로 진출할 필요가 있다.

- 추가적으로 베트남에 대한 공적개발원조(ODA)의 대외협력기금(EDCF), 한국국제협력단(KOICA)의 사업에 참여하여 진출하는 전략에 대한 검토도 필요할 것으로 판단된다.

(라) 프로모션(Promotion) 전략

- 친환경 옹벽공법은 성장 초기 시장에 진입하는 것으로 기존 공법대비 인지도가 낮은 상황이므로 인지도를 높이기 위한 다양한 판촉활동 전개 필요하다.

- 홈페이지 및 Facebook 등 SNS의 전략적 활용과 학회 및 컨퍼런스 참가, 사업설명회 개최 등을 통해 개발공법에 대한 연구 내용을 발표하고 국내외 건설관련 전시회 참가하여 신제품 홍보가 필요하다.

  - 해외 : 베로나 국제 토목·건축박람회, 가와사키 국제환경기술전, 아부다비 토목건축자재 및 기술박람회, 국제건설기계 박람회, 상해국제건설기계박람회, 아스타나 건설산업 박람회 등
  - 국내 : 토목학회, 한국지반공학회, 한국지반환경공학회 등의 학술발표회, 국토교통기술대전 등 국내에서 개최되는 국제 전시회

- 또한 개발공법 홍보물(e-Catalogue)을 제작하여 국내외 관련기업에 DM 및 e-mail 발송하고 한국무역협회(KOTRA)의 중소기업해외진출 지원사업을 적극적으로 활용하여 개발공법의 홍보에 활용해야 할 것으로 판단된다.

라. 마케팅 활동

기술영업을 위한 학문 및 시공 기술력 정립	• 유사공법과의 비교분석을 통한 창의성 부각 • 논문발표, 프로젝트 수행시 심의내용 수정 및 보완 • 국·내외 동종업계 특허 및 신기술 현황 분석
기술개발 참여업체 인력 인프라 활용	• 시장조사 : 브니엘컨설턴트 외 1개 업체 • 설계분야 : 동일기술공사 외 3개 업체 • 시공분야 : 현대거설 외 2개 업체
지역관청 및 관련업체의 기술활용 홍보교육	• 대전지방국토관리청, 철도시설공단 등 • 기산엔지니어링, 다우컨설턴트, 드림이엔지 등 • 계룡건설, 금성백조, 파인건설 등

마. 종합 마케팅 전략

마케팅을 위한 사전준비

• 기술력 증진과 시장조사를 통한 마케팅 정보 축적

↓

분야별 마케팅 영역 및 확대 방안

• 단지(아파트, 산업), 도로, 철도, SOC, 해외사업 등 각 분야의 특성을 고려한 마케팅 영역 확대

↓

마케팅 활동

• 기술 및 인력 인프라를 활용한 영업 • 관련기관 및 업체 홍보교육

↓

마케팅 성과분석 및 자료 데이터베이스화

• 합리적 R&D 항목, 체크리스트 작성 • 성과분석 및 자료 데이터베이스화

↓

Feedback을 통한 전략 개선

• 상기과정에서 도출된 문제점 개선을 통한 마케팅 전략 개선

5. 해외시장 진출 전략

• 개발공법의 해외시장 진출을 위해서는 진출 대상 국가의 선정 및 선정된 국가의 시장동향 파악이 가장 중요하다.

• 패널식 옹벽 공법은 비탈면 보강공법으로 도로, 철도, 단지 등 국가 인프라사업에 주로 활용되는 공법으로 국가 인프라 구축이 완료된 선진국 보다는 동남아 개발도상국으로의 진출이 용이하다.

• 주관연구기관은 개발공법의 해외시장 진출을 위하여 이미 베트남 국영 설계사 CONINCO와 꾸준히 기술교류를 하고 있으며 한국건설신기술협회에서 주최한 신기술 설명회(Hochimin, 2015)와 KICT에서 주최한 Korean Construction Technology Fair(Hanoi, 2015)에서 개발기술에 대한 홍보를 수행하였으며 이를 토대로 베트남 및 인근 시장으로 진출할 계획이다.

• 자연암반형 패널을 이용한 원지반 부착식 옹벽은 베트남 및 인근국가에서는 아직 미개발된 분야로 베트남을 거점으로 국가사업 및 주요관청의 사업계획 분석을 통해 동남아시장 진출을 위한 마케팅 전략을 수립할 계획이다.

가. 베트남 건설시장 동향

(1) 시장 규모

• 2014년 건설시장 규모는 약 1,000만달러에서 2020년에는 약 2,000만달러 규모로 성장할 것이 기대된다.

• 특히 국제 금융기관의 지원확대·석유자원 개발 등에 의한 외국기업 진출 증가, 산업육성을 위한 기초 인프라 건설 등으로 지속적인 성장이 진행될 것으로 전망된다.

• 최근 베트남 정부의 긴축정책, 비생산 분야의 대출 제한 등으로 부동산경기가 침체되어 건설 프로젝트 등의 지연되고 있으나 향후 부동산 경기 활성화 방안, 소비자 수요 증가, 국내외 경기 회복시기 등이 건설경기 회복을 좌우할 전망이다.

표 5.8 베트남 건설시장 규모 및 전망

구 분	2011	2012	2013	2014	2015	2020
건설시장규모	7.9	8.6	9.6	10.9	12.2	20.7
건설업 성장률	-0.62	3.25	6.2	7.0	6.1	5.3
건설업종 GDP 비중	5.87	5.61	5.35	6.42	5.9	5.5

주) Business Monitor International (2013.Q4) - 건설시장 규모, 건설업 성장률 및 건설업 종 GDP 비중(2015, 2020년)
베트남 통계청, Statistical Yearbook of Vietnam 2013 - 건설업 성장률 및 건설업종 GDP 비중

(2) 건설시장 동향 및 특징

• 교통인프라와 연결된 부동산 개발
  - 도로, 철도, 해운 등 교통 인프라 부족으로 지역간 이동이나 국토 균형개발이 어려운 상태이며 기존 교통인프라를 중심으로 부동산 개발 진행 (베트남의 주요산업, 정재완 등, 2007).

• ODA에 의한 공사 발주
  - 정부재정의 열악하여 공공 공사 발주량이 많지 않고 대부분 ODA에 의해 공사발주가 이루어지고 있음

• 현지 국영 및 건설업체의 영향이 높음
  - 전체 기업(131,318개 중) 국가 소유 기업은 2.8%(3,706개)에 불과하지만 국가 세입은 16.6%로 이들의 영향력이 크게 작용하고 있음
  - 건설업체는 건설부에 16개, 교통부에 8개, 국방부 등에 소속되어 있어 정부산하 국영기업의 건설업체가 건설업에 큰 영향력을 미침

• 인프라 개발 활발
  - 2010년까지 교통기반 시설 투자에 총 115억불을 투자하였고, 2020년 까지 도시 개선 계획에 약 108억불의 투자 계획

(3) 베트남 건설업체 현황

• 대형 건설업체의 정부 소유
  - 외국 기업에 대한 지분 참여 및 경영권 제한으로 대형건설업체는 정부에서 운영
  - 외국인 투자자가 베트남 기업 지분을 인수할 경우 비상장 기업은 30%, 상장기업은 49%까지만 지분참여 허용
  - 규모가 큰 회사들은 대부분 호찌민, 하노이, 다낭, 붕따우, 하이퐁 등 대도시에 집중되어 있음

• 건설업체 현황
  - 국영기업 및 민간기업을 포함해 4,000여개의 건설업체가 있으며 건설 및 장비분야에 약 3,500개사, 건설팅 분야는 약 580개사 운영 중
  - 건설업체 대부분은 베트남 국내에서 활동하고, 일부 건설업체만 라오스, 캄보디아 등 주변국 건설시장으로 진출

• 민간 건설업체의 약 95%는 연간 매출액이 100만 달러 이하의 소규모이며, 숙련기술자 및 전문가가 부족해 주로 주택건설 분야에서 활동

• 국영건설 업체는 최신 장비 및 기계를 보유하고 있어 대규모 관개사업, 수력발전소, 산업단지 건설에 참여함
  - 지방공영 및 민간건설업체는 장비 및 기계의 노후로 단순 기술만을 요구하는 소규모 공사에만 참여 (강명구, 베트남 건설업 동향과 전망, 조사연구 이슈분석, KDB 산업은행, 2011)

표 5.9 베트남 주요 5대 건설사 현황

회사명	소유자	자본금1)	주요 분야
Vietnam Cement Corporation	국영	11조 9,850동 (5억 8,101만 달러)	시멘트제조, 수력발전소, 비철금속
Song Da Construction Corporation	국영	6조 6,000동 (3억 1,995만 달러)	아파트, 플랜트, 수력발전소
Hanoi Construction Corporation(HACC)	국영	1조 500억동 (5,090만 달러)	공공부문건설,인프라, 투자프로젝트
Vietnam Urban and Industrial Zone Development and Inve- stment Corporation(IDICO)	국영	800억동 (388만 달러)	교통인프라(BOT), 수력발전소, 호텔, 리조트 등
LILAMA Corporation	국영	-	턴키프로젝트

주) 해외건설협회, 해외건설종합서비스 / 강명구, 베트남 건설업 동향과 전망, 조사연구 이슈분석, KDB 산업은행, 2011

나. 건설공사 발주 유형

• 베트남 건설공사는 발주 재원에 따라 국가프로젝트, 원조프로젝트, 합작투자 프로젝트의 3가지 유형이 있음
  - 원조프로젝트 : ODA, UN, DECF, ADB, WB 등으로 이루어짐
  - 합작투자프로젝트 : 베트남측 투자지분이 30%를 차지함

• 인프라 건설 : 100% 외국인 투자 및 합작투자 형태로 진행
  - BOT, BTO, BT 방식을 채택하고 있으며, BT 방식은 줄어들고 있음

• 정부와 민간발주
  - 정부와 민간부문의 발주량은 각각 50%
  - 정부는 플랜트, 항만, 고속도로 등 SOC 부문을 주로 발주하고, 민간은 신도시개발 등 아파트 개발 및 상업시설 건설을 발주함

주) - BOT (Build-Operate-Transfer) : 투자자가 일정기간 동안 사회간접자본을 건설·운영하고 기간이 만료되면 시설의 소유권을 베트남 정부에 무상으로 양도하는 투자형식
- BTO (Build-Transfer-Operate) : 투자자가 사회간접자본을 건설한 후 시설 보유권을 베트남 정부에 양도하면 투자자의 투자자본의 회수와 이윤 획득이 보장되도록 일정기간 동안 해당시설의 경영권을 부여하는 투자형식
- BT (Build-Transfer) : 투자자가 사회간접자본을 건설하고 건설이 완료된 후 시설 소유권을 양도하면 투자자의 투자자본 회수 및 이윤 획득이 보장되도록 다른 프로젝트 참여조건 또는 BT계약서에 의한 비용지불 투자방식

다. 베트남 도로개발 계획

(1) 개발수요

- 사회경제개발계획 (SEDP) 2011 ~ 2015에서 현대화된 산업국가 도약을 위한 9대 개발 과제로 현대화된 교통인프라 구축 예정

- '93년 이후 도로예산의 약 90%가 국도부분 지원으로 산악 지방도로 여건이 열악하며 경제 전반의 비용증가 및 비효율 유발로 베트남 경제발전의 장애요인으로 인식

- WB, ADB, JBIC 등 주요 공여기관에서도 도로 확충의 중요성을 인식하고 최우선적 지원분야로 하여 재원을 집중

- 한국은 베트남의 ODA 지원에 따라 2005년 이후 교통분야 인프라 구축에 50% 이상을 지원하고 있는 실정(한국국제협력단(KOICA), 베트남 고속도로 관리 및 제도역량 강화 사업, 2014)

(2) 고속도로 인프라계획

- 총리령 2009년 1327호 (No. 1327/2009/QD-TTg)에 의하면 2020년까지 도로 수송을 통해 총 55억명 여객 수송, 7억 6,000만 톤의 화물 수송, 280만 ~ 300만대의 차량 통해 가능 도로 수송망 구축을 계획

- 현재 정책적으로 24개의 고속도로와 고속도로 구간 (도시순환 벨트 포함) 등 총 2,318km의 고속도로 구축 예정

(3) 주요 도로개발 계획

- 주요 도로개발 계획은 남북을 잇는 중심도로, 주요 경제개발단지, Trans-Asia Road 및 주요 대도시의 및 주요 대도시의 교통 시스템 개선에 집중 투자를 계획

- 북부지방은 하노이를 중심으로 주요 도시와 부채꼴로 연결되는 고속도로 건설을 계획 중이며 중부지방은 1번 도로를 중심축으로 라오스와 캄보디아를 연결하는 도로, 경제 개발구역과 항구 연결 도로, 중부 고원지역을 연결하는 도로 건설을 계획

- 남부지방은 호찌민시를 중심으로 부채꼴로 연결하는 비엔호아, 붕따우, 멜콩델타 지역을 연결하는 도로 건설을 계획

- 현재 국가 사회간접 자본 투자 확대를 추진하고 교통인프라 구축을 위해 2014 ~ 2020년까지 457억달러 투입 예정

라. 베트남 철도개발 계획

(1) 철도 인프라계획

• 기존 노선의 철도 속도를 시속 120km로 향상시키며 글로벌 스탠다드에 맞게 개선

• 신규 노선은 고속철도(express railway)와 초고속철도(high-speed railway)로 건설 계획
  - 350km의 남북 종단 초고속철도 사업화
  - 하노이, 호찌민은 도심 내 궤도수송(iron-wheel transport) 개발

• 2020년까지 여객 분담율 13%, 화물 운송 분담율은 14% 계획 목표

• 여객운송은 장거리 노선(300~500km)를 강화하고, 북-남, 동-서 노선시설에 집중 투자하여 중량 화물 운송을 강화하고 도로 파손 방지 계획

• 협궤철로를 표준궤 철로로 대체. '라오카이-하노이-하이퐁''동당-하노이' 노선 개선 예정(정재완·이재호·권경덕, 베트남의 주요산업, 유통·석유화학·수송인프라, 대외경제정책연구원, 2011)

(2) 주요 철도개발 계획

• 다낭 ~ 호찌민시 연결 서부고원철도 (Western Highland Railway Network)를 2030년까지 건설
  - 서부고원철도 지선인 Buon Ma Thuat ↔ Tuy Hoa, Dak Nong ↔ Binh Thuan 구간 건설

• 하노이와 호찌민 연결 1,555km 남북 초고속철도
  - 하노이- 빈(Vinh) 구간, 나짱(Nha Trang)- 호찌민 구간은 2020년, 빈 - 다낭 구간은 2030년

• 해안철도 건설
  - Nam Dinh ↔ Thai Binh ↔ Hai Phong ↔ Quang Ninh 구간, Ha Long ↔ Long-Mong Cai 구간 건설

• 기존 철도 연결 공사
  - Lang Son ↔ Quang Ninh(Mui Chua) 구간, Nam Dinh ↔ Thinh Long

• 기존 남북철도의 수선 및 개선, 복구 예정 구간
  - Yen Vien ↔ Pha Lai ↔ Ha Long ↔ Cai Lan 구간, Bien Hoa ↔ Vung Tau 구간, Lao Cai ↔ Hanoi ↔ Hai Phong 구간, Dong Dang ↔ Hanoi 구간, Dak Nong ↔ Binh Thuan 구간, Di An ↔ Loc Minh 구간, Vung Ang ↔ Mu Gia 구간 등은 수선 및 개선 예정

• 2030년까지 하노이와 호찌민에 도시철도 완공

마. 베트남 건설시장 진출 전략

(1) 베트남 건설시장 특성

- 베트남 건설 토목시장은 정부의 인프라개선과 신도시 개발 추진으로 장기적으로 투자 여력이 높게 평가됨
- 천연자원이 풍부하고 노동력이 저렴함, 재정은 해외차관 및 차관 제공 국가의 사업지원에 의해 공종별 사업이 추진되고 있음

표 5.10 베트남 건설시장 특성

구 분	주요 특성
경쟁자	• 차관제공 국가(일본) 위주 진출: Obayashi, Taisei, Kajima, Sunitomo • 현지 업체는 영세한 규모, 낮은 기술력으로 하청 위주 작업수행 • 해외업체들은 차관지원, 자본투자 등 소극적 진출
경쟁요소	• 기 진출 업체와 관계 형성 필요 : 현지 업체의 행정제도상 규제완화 • 당 관료와의 인맥 형성 : 발주 과정에서 영향력 높음 • 화교권 업체의 저렴한 노동력, 현지진출 경험
외국기업 개방정도	• 인프라 확충을 위해 적극적인 해외자본 유치 및 투자형 진출 : ODA의 약 50%가 도로에 할당 • 시장경제의 이해 부족 : 수익모델 창출 미흡 • BOT, BTO, BT 등 추진 미숙으로 낮은 수익성 등이 문제점
발주처	• 국가 프로젝트, 원조프로젝트, 합작투자프로젝트로 구분 • Ministry of Transport에서 총괄적인 관리 • PMU(Project Management Unit)별로 발주, 진행 담당
주요 성공요인	• 현지 행정관료, 건설업체, 당관료들과의 협력 • 자체적인 시장 개발 노력을 통한 수익구조 확보
종 합	• 차관 제공과의 연계 전략 필요

(2) 베트남 건설업 시장 진출 유형 및 투자방식

(가) 건설관련 법령 및 진출 형태

- 국내기업에 우선권
  - 기업법(Law of Enterprise), 국영기업법(Law of State-owned Enterprise) 협동조합법(Law of Cooperatives)에 설립된 국내기업
  - 외국인투자법(Law of Foreign Investment)에 의해 설립된 합작사로 베트남 지분 50% 이상 기업

- 외국건설사
  - 총공사비의 50% 이상을 하청 등을 통해 베트남 내 국내 기업을 이용하는 경우 우선권 대상 포함

표 5.11 외국건설사 진출 형태

유형	형 태	허가서	운 영
법적 지위 보유	• 합작(Joint-Venture) 100% 단독기업	• 투자허가서 (certificate of investment) - 투자법 - MPI법 또는 DPI법	• 법인인감 및 납입 한도 내 건설업 • 건설업 요건 (Dec-si on 19/2003/QD-BXD) 충족 - 노동·품질조건
법적 지위 미보유	• 대표사무소 또는 연락사무소 모두 없음	• 건설부로부터 계약라 라이선스(License of Contractor) 취득 - 계약 공사에 한한 건설업 - MPC 또는 지방건설국	• 각 프로젝트마다 라이선스 취득 • 현지파트너와 파트너십 체결 • 파트너십 미체결 시 1개 이상 현지기업에 하청 • 대표사무소 설치

(3) 공사발주 기관 현황

(가) 공공발주

• 건설부, 교통운송부, 공업부, 농업농촌개발부, 수산부 등 정부부처와 규모가 큰 국영회사에서 인프라 분야를 중심으로 발주

• 지방프로젝트는 해당 지방인민위원회(지방정부), 행정청에서 발주

표 5.12 발주기관 현황

발주기관(부처)	주요업무	연락처
Min. of Construction (MOC)	상하수 시설, 주택 등	Tel (84 4) 3821 5971 Fax (84 4) 3821 5428
Min. of Transport (MOT)	교통, 도로정책	Tel (84 4) 3821 5971 Fax (84 4) 3821 5428
Project Management Unit(PMU) 85	교통	Tel (84 38) 84 1252 Fax (84 38) 84 1253
PMU 18	교통	Tel (84 4) 768 0059 Fax (84 4) 768 0073

(나) 건설업 면허 허가제도

• 기업법 (Law 60-2005-QH 11, '05.11.29) 및 기업법 시행의 Decree 88('06.8.29)에 따라 건설업 면허허가

• 건설 허가증 발급 권한은 성, 시 인민위원회 위원장에게 있으며, 건설부는 건설허가서 발급 수속을 안내함 (투자관리 및 공사관리에 관한 시행령 Decree No. 42 / CP)

• Cicular 01/BXD-CSXD ('97. 4월 건설부 발표)
  - 외국투자 프로젝트 건설 및 외국건설회사 공사관리 규정
  - 건설허가 자격 취득을 위한 요건으로 법적자본금 500만불이상, 최근 2년을 기준으로 연간 매출실적 2,000만불 이상, 베트남 컨설턴트 또는 건설조직과의 협력 등을 내용을 담고 있음

(다) 프로젝트 허가제도

표 5.13 프로젝트 허가제도

구분	프로젝트 A	프로젝트 B
허가	건설부 (소요기간 20일)	지방인민위원회 (승인 즉시 건축가능)
내용	• 공업단지, BOT, BO, BT 프로젝트 • 전력, 광업, 석유 및 가스, 금속, 시멘트, 화학, 항구, 공항, 문화 및 관광, 부동산 사업분야 투자자본금 4,000만불 이상 프로젝트 • 해상 및 공증 운송 프로젝트 • 천연자원 프로젝트, 국방 및 안보 관련 프로젝트 • 우편, 통신, 문화, 출판, 언론, 방송, 교육훈련, 의료, 보험, 감사 및 전문평가 등의 프로젝트 • 도시지역 5ha 이상과 기타지역 50ha이상의 토지 사용 프로젝트	• Group A에 해당되지 않는 모든 프로젝트

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 해외 기술 및 산업 동향

- 유럽 및 북미 선진국들의 경우 국내와는 지형적인 조건이 다르기 때문에 절토부옹벽의 보강공법 및 적용 방향 등은 상이하나 외관 향상을 통해 친환경성을 도모하는 목적은 동일하다.

- 이를 위한 연구개발은 콘크리트 옹벽 구조 내에서 식생이 가능한 블럭식 옹벽을 적용하거나 자연석재, 문양 전면판 등 옹벽 전면판 개발로 자연사면과의 이질감을 최소화하는 방향으로 우리나라와 비슷하게 진행되고 있다.

- 반면 최근에 도로건설의 필요가 증가하는 개발도상국의 경우 사면보강공사, 도로옹벽공사에 필요한 기술들을 수입하고 있는 실정이다. 작년 우리나라의 기존 옹벽관련 기술 수출액은 약 423억이며 향후 친환경·녹색 기술에 대한 수요 역시 꾸준히 증가할 것이라 예상된다.

2. 해외 특허 동향

- 기존 국내외의 특허 출원 및 등록은 콘크리트 옹벽 패널에 앵커, 네일링 등의 다양한 보강재를 추가하여 보강력을 증가시키는 방향 또는 친환경·녹색발전을 위해 식재가 가능하도록 시공하는 기법, 패널의 전면판을 식생으로 덮거나 자연석재 또는 기하하적 패턴을 적용해 콘크리트 구조물이 주는 위압감을 감소시키는 방향으로 진행되어 왔다.

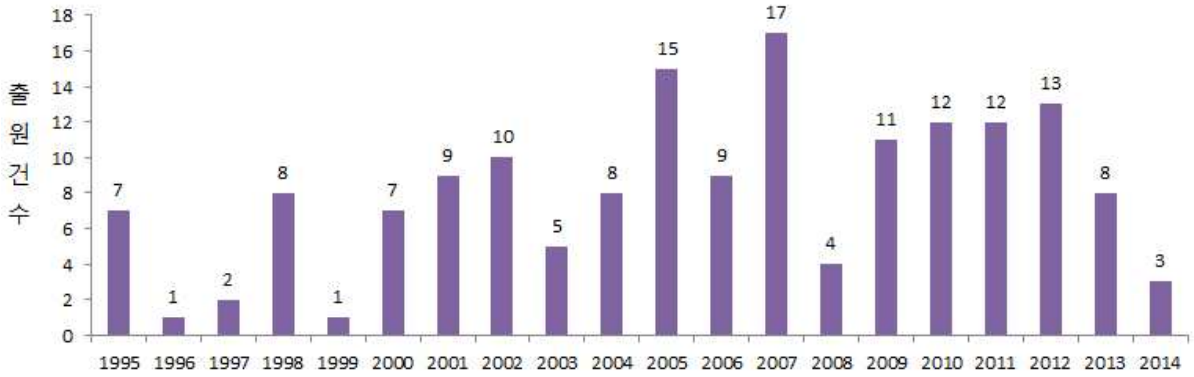
- 본 과제에서는 선행기술 분석을 통해 국가별 출원 동향과 경쟁력을 파악하고 개발기술의 R&D 및 IP 전략 수립을 위하여 국내외 특허동향을 분석하였다.

- 분석 기준은 '자연암반형 옹벽'과 '원지반 부착식 옹벽'이며 검색에 사용된 세부 기술범위는 다음 표 6.1과 같다.

표 6.1 세부기술 범위

대분류	중분류	검색개요(기술범위)
자연암반형 원지반 부착식 옹벽 기술	자연암반형 옹벽 (AA)	• 절토부 옹벽에 사용되는 프리캐스트 패널 옹벽 • 자연석 및 자연암 질감을 갖는 표면처리기술 이용 옹벽
	원지반 부착식 옹벽 (AB)	• 네일, 앵커 등의 보강재를 이용한 패널식 옹벽 • 원지반 부착을 위한 중력 및 수평토압 이용 옹벽

- 분석구간은 출원일 기준으로 1995년부터 2015년 2월 까지 최근 20년간이며, 국가 및 검색범위는 대한민국, 일본, 미국, 중국의 특허 공개와 등록 전체 문서를 대상으로 하였다.

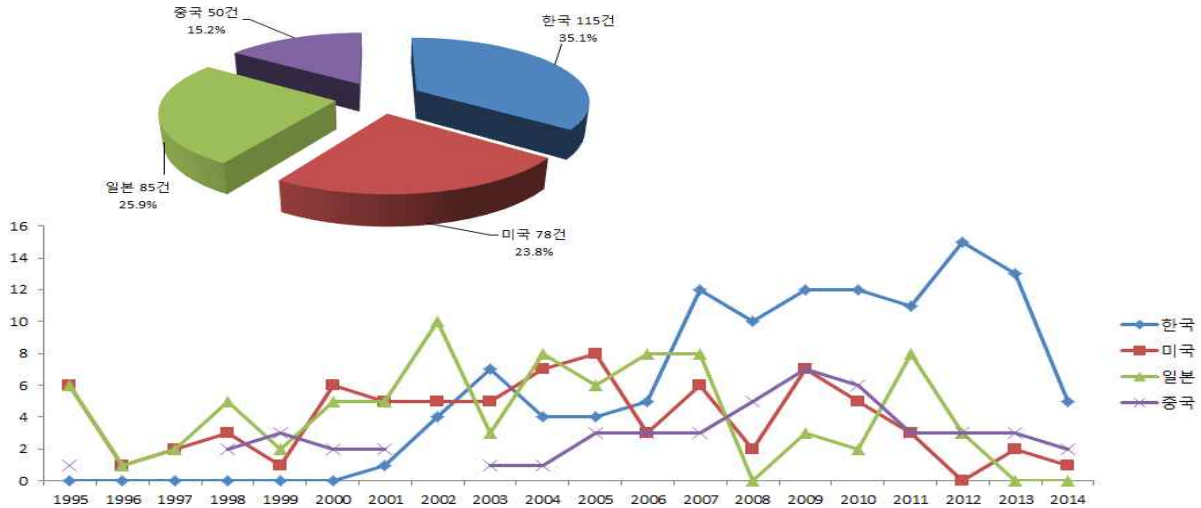


* 분석구간 : 한국, 미국, 일본, 중국 특허, 출원년도 : 1995.01~2015.02

그림 6.1 연도별 특허출원 동향

• 연도별, 국가별 특허출원 동향을 보면 한국은 2006년 이후 특허출원이 급격히 증가하였으며 미국은 지속적으로 출원이 되고 있다. 일본은 2003~2007년까지는 특허출원이 활발하게 나타났으나 그 이후는 저조하며, 중국은 2007년 이후 활발하게 특허출원이 이루어지고 있는 실정이다(그림 6.2).

• 건설부분의 친환경, 원가절감 등의 정책과 친환경에 대한 사회적 요구에 따라 국내·외 모두 자연친화적 옹벽에 대한 특허출원은 계속적으로 증가할 것으로 판단된다.

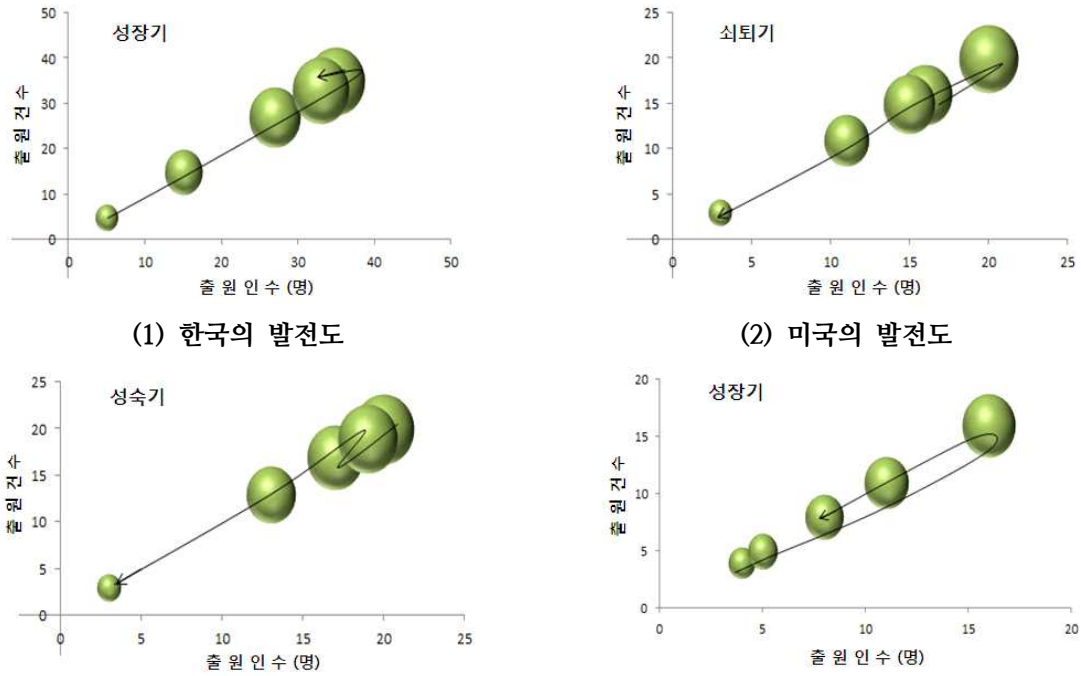


* 분석구간 : 한국, 미국, 일본, 중국 특허, 출원년도 : 1995.01~2015.02

그림 6.2 연도별, 국가별 특허출원 동향

• 자연암반형 옹벽의 국가별 기술 위치를 포트폴리오로 나타내면 한국의 경우 출원인수와 출원건수가 계속 증가하는 성장기 단계로 많은 기술 개발이 이루어지고 있는 것으로 분석된다.

• 미국의 경우는 출원인수와 출원건수가 초기 증가하였다가 감소하는 쇠퇴기 단계를 보여주고 있으며, 일본의 경우는 특허출원인 및 특허출원수의 일정한 상태를 유지하는 성숙기 단계로 분석된다. 중국의 경우는 출원인 및 출원건수는 초기 태동기를 거쳐 성장단계를 보여주고 있어, 향후 꾸준한 성장이 진행될 것으로 분석된다(그림 6.3).



(1) 한국의 발전도 (2) 미국의 발전도

(3) 일본의 발전도 (4) 중국의 발전도

그림 6.3 포트폴리오로 본 국가별 기술 발전도

가. 출원인별 특허 동향

• 전 세계적으로 주요 출원인별 동향은 그림 6.4와 같으며 환경 문제 이슈와 관련하여 기술 개발과 특허출원 건수도 꾸준히 증가할 것으로 판단된다.

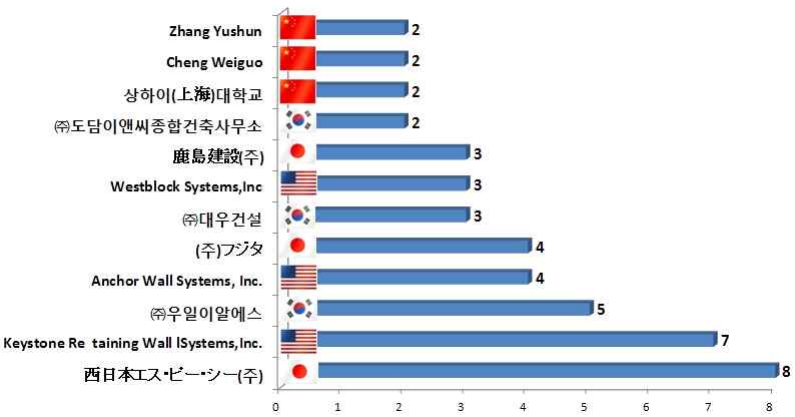


그림 6.4 전세계 주요 출원인

나. 연도별 특허 동향

- 연도별로는 각국은 2000년 이후부터 지속적인 증가를 보이고 있으며 자연암반형 옹벽은 2005년 이후 많은 특허출원이 이루어지고 있다(그림 6.5).

- 세부기술별 출원비중을 살펴보면, 한국은 자연암반형 옹벽 기술이 50.6%(168건)의 비율을 차지하고 있고 원지반 부착식 기술은 49.4%(162건)의 비율을 차지하고 있는 것으로 조사되어, 서로 비슷한 특허출원 동향을 보이고 있다.

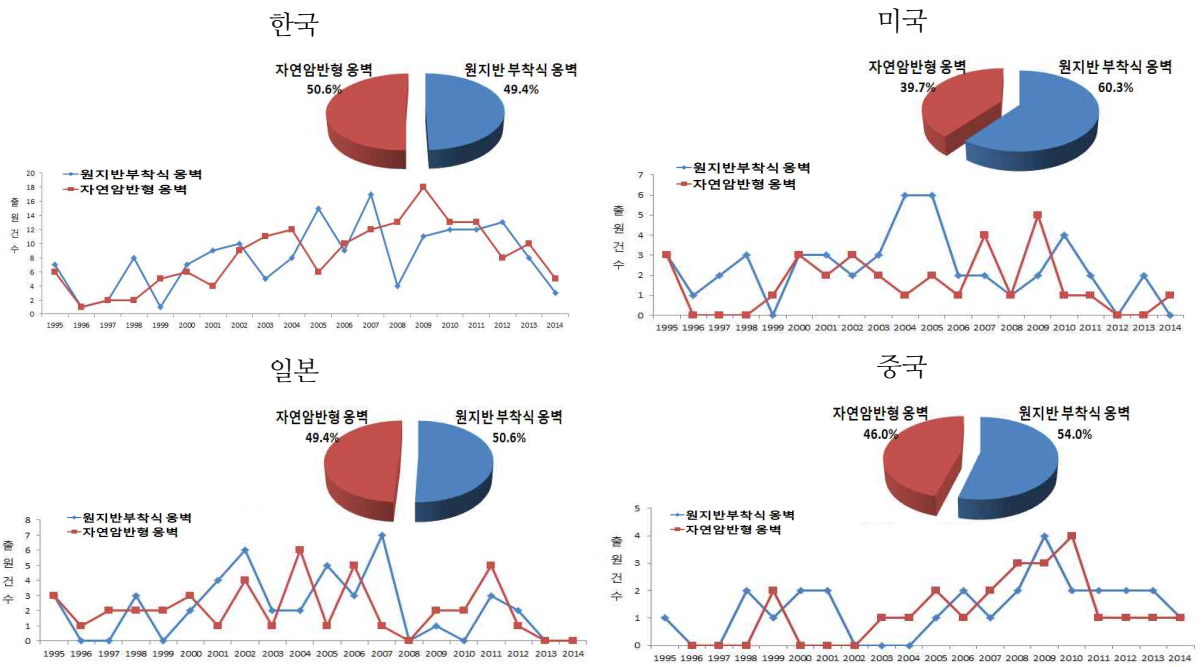


그림 6.5 세부기술별 및 연도별 특허 분포현황

제 7 장 연구개발성과의 보안등급

표 7.1 연구개발성과의 보안등급

구분	내용
보안등급	일반

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

표 8.1 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치장소)	NTIS장비 등록번호

해당없음

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

1. 안전 조치 계획

• 안전조치는 산업안전보건법, 건설기술관리법, 건설공사 안전점검 지침, 위험물 안전 관리법, 전기 안전법 등에 의거하여 연구개발과제 수행에 따른 연구실 및 현장시험의 안전조치 이행계획을 수립하였으며, 참여연구원 안전교육, 실험실 안전점검, 현장시험 안전점검, 안전사고 대응 및 예방 전략으로 계획하였다.

2. 안전 조치 이행

• 참여연구원 안전교육은 연구과제 수행 전 실시하여 실험실 및 현장시험의 안전환경 조성과 사고예방을 위해 한국안전시설공단에서 배포된 안전교육 자료와 사고사례를 이용하여 기관별 자체교육을 실시하였다.

가. 실험실 안전점검

• 실험실 안전점검은 실험특성에 따라 일상점검, 정기점검, 특별안전점검으로 안전 진단을 실시하였다.

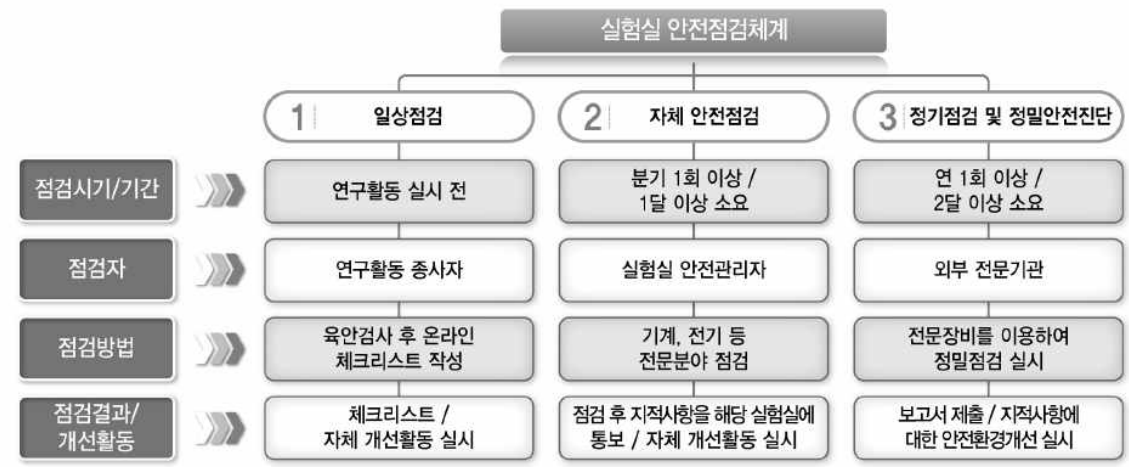


그림 9.1 실험실 안전점검 체계

(1) 일상점검

• 실험에 사용되는 약품 및 장비의 이상 유무를 위탁기관 참여연구원이 실험식별 특성에 맞는 점검표를 이용하여 수시로 점검하였다.

(2) 정기점검

- 실험실 안전점검 체계에 따라 분기별 정기점검을 실시하고 부적합한 사항이 있을시 즉시 주관기관에게 보고하였다.

(3) 특별안전점검

- 폭발사고, 화재사고 등 참여연구원의 안전에 치명적인 위험을야기할 가능성이 있을 것으로 예상되는 경우에 위탁연구기관 연구책임자 지시에 의해 자체점검 및 외부기관에 의뢰하여 점검하였다.

(4) 추가 이행 내용

- 일상점검, 정기정검, 특별안전점검 이외 추가로 이행한 안전조치의 내용은 다음과 같다.

표 9.1 추가 이행 내용

구분	내용
실험실 안전환경 개선	• 노후 실험실 개선공사 시행(흄후드 개선 등)
실험실 소방설비 개선	• 실험실에 설치되어 있는 노후 소방시설을 개선하여 신속한 화재 경보 및 소화활동 실시
실험실 전기 안전관리	• 비접지형 콘센트 노후 분전반 교체 등
고압가스 안전관리	• 안전시설 설치(전도방지장치 등)
안전보호장비 설치	• 개인용 보호장비 구매 • 시약장 안전가이드바 설치 • 밀폐형 시약장 설치

나. 현장시험 안전전검

- 현장시험 안전점검은「건설기술관리법」및「건설공사 안전점검 지침」에 의거하여 현장시험에 참여하는 모든 인원을 대상으로 현장안전관리 점검을 실시하였다.

- 안전사고 대응 및 예방으로는 실험실 및 현장시험에서 발생하는 안전사고에 적절한 대응과 그 피해를 최소화하기 위해 대책을 수립하였다.

① 실험실 및 현장시험 사고처리 흐름도 및 비상연락망 구축
② 유사사고를 예방하기 위해 연구기관에서 발생하는 사고사례를 연구원들에게 배포
③ 현장시험 및 실험실 안전사고 대응 처리 매뉴얼 작성, 사고 대응 훈련 실시

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

1. 논문 게재 성과

표 10.1 논문 게재 성과

게재일	논문명	저자			학술지명 (ISSN)	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신 저자	공동 저자				
2016.03	원지반 부착식 패널옹벽의 현장 적용성 평가	민경남		이재원 이중관 강인규 안태봉	지질공학 (1226-5268)	Vol.26 (No.1)	국내	-

2. 학술대회 발표 성과

표 10.2 학술대회 발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분
2015.11.06	원지반 부착식 패널옹벽의 현장 적용성 평가	민경남	대한지질공학회 2015 추계학술대회	국내

3. 특허 성과

표 10.3 특허 성과

구분	출원일 (등록일)	특허명	출원인	출원국	Ⅱ.출원번호 (등록번호)
출원	2015.08.12	곡면부 처리가 가능한 원지반 부착식 옹벽 구조물	(주)세종이엔씨	대한민국	10-2015-0113551
등록	2016.01.25	곡면부 처리가 가능한 원지반 부착식 옹벽 구조물	(주)세종이엔씨	대한민국	10-1590057

4. 사업화 실적

표 10.4 사업화 실적

구분	공사명	발주처	계약일	공사 기간	계약금액
시공	하소일반산업단지 공업용수도 건설공사	대전광역시 건설관리본부	2016. 6. 27	2016. 04. 18 ~ 2016. 08. 31	51,700,000
설계 반영	청주 동남지구 주변도로 조사설계용역	LH공사 (동일기술공사)	-	-	진행중
설계 반영	광주용산 도시개발사업지구 도시기반시설 설치공사	LH공사 (한국종합기술)	-	-	진행중
설계 반영	광주~강진 간 고속도로 3공구 실시설계	한국도로공사 (경호엔지니어링)	-	-	진행중
설계 반영	진접선 차량기지건설공사 기본 및 실시설계	한국철도시설공단 (태조엔지니어링)	-	-	진행중

제 11 장 기타 사항

1. 플라이애시 콘크리트 패널 개발

가. 개발 배경

(1) 플라이애시의 재활용

- 국내 석탄화력발전소는 삼천포, 보령 등 12곳이며, 이곳에서 발생하는 석탄회(2013년 기준)는 694.7만 톤이며 재활용률은 89.9%이다.

- 국내에서 석탄회의 주용도는 시멘트 및 콘크리트 혼화제(88.9%)로 사용된다.

(2) 시멘트 사용 대체에 따른 온실가스 저감

- 콘크리트는 세계적으로 약 17,000백만 톤이 매년 생산되고 있으며, 콘크리트를 제조하기 위해서는 골재, 물의 사용 뿐 아니라 많은 양의 시멘트 사용으로 탄산칼슘의 탈산반응에 의해 Co_2 가스가 발생한다.

- 일반적으로 포틀랜드 클링커 1kg를 제조하는데 약 0.53kg의 Co_2 가스가 발생하고, 화석연료 연소에 의해 0.37kg의 Co_2 가스가 발생한다.

- 지구 온난화 가속화를 늦추고, 콘크리트 제조 및 사용에 따른 Co_2 를 줄이기 위해서는 시멘트 사용량을 줄인 콘크리트의 개발·사용으로 건설분야의 저탄소 녹색성장이 필요하다.

(3) 열섬현상 완화

- 열섬현상을 줄이는 가장 좋은 방법은 도심에 수목을 식재하는 것이며, 도심 내에 수목 식재 비율을 10% 증가시킬 경우 여름철 온도를 약 0.5 ~ 1.0℃를 낮출 수 있다.

- 또한 건축물 옥상, 옹벽, 교량난간, 방음벽 등의 포장체에 복사열의 근적외선을 효율적으로 반사시켜 열섬현상을 저하시키는 방법으로 알칼리성 친환경골재 콘크리트를 개발하여 사용하는 것을 검토할 수 있다.

(4) 친환경 소재의 패널 개발

- 플라이애시 콘크리트를 이용한 패널은 탄소배출 저감, 열섬현상완화, 폐기물 재활용에 의한 원가절감, 옹벽의 내구성 강화 등의 효과를 기대 할 수 있다.

- 플라이애시를 콘크리트 혼화제로 사용할 경우 초기 압축강도 저하, 중성화 문제, 블리딩 증가, 공기량 감소 등의 문제점을 해결한다면 친환경의 경제성을 갖춘 제품으로 시장에서 높은 성과 창출이 기대된다.

나. 개발 계획

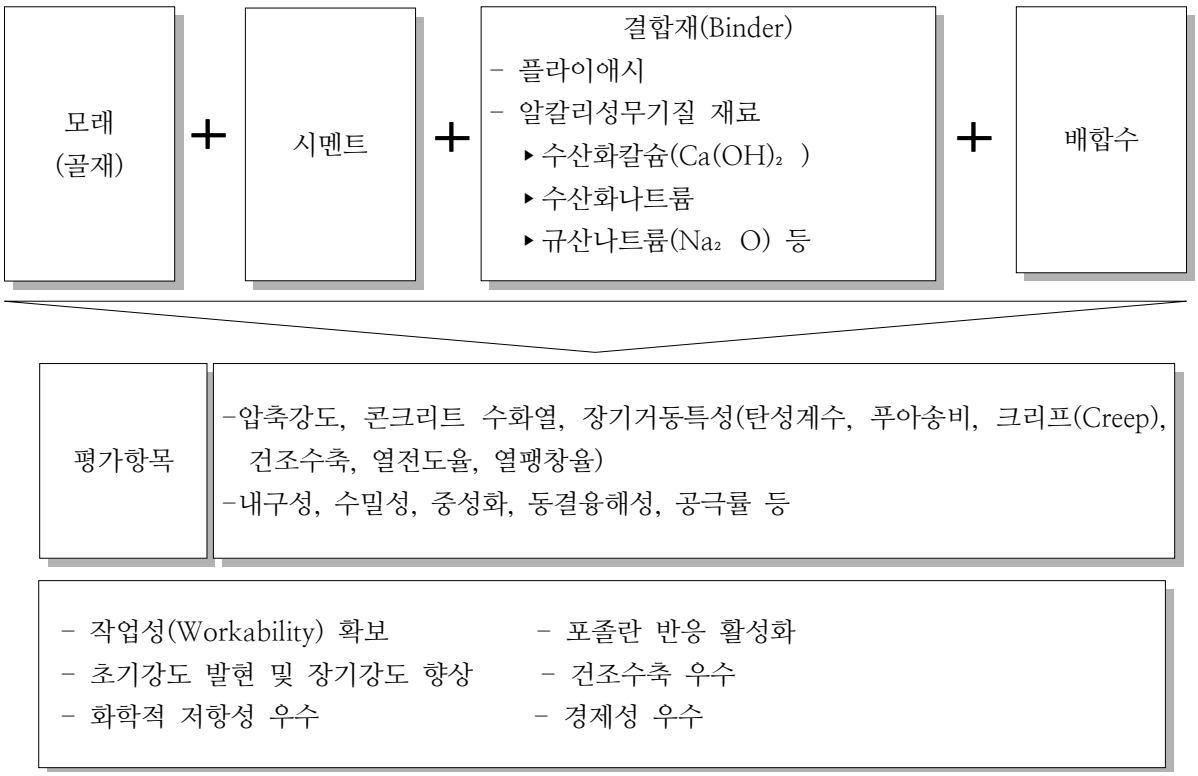


그림 11.1 플라이애시를 이용한 패널 개발 계획

- 플라이애시를 혼화제로 사용할 경우 초기 압축강도 저하 및 중성화 약화에 대한 개선 방안 대책 필요하다.

- 결합재 사용 시 특정이상의 분체량을 사용할 경우 콘크리트 경화 후의 과잉강도, 수화열이나 자기수축에 따른 내구성 저하 문제 발생한다. → 개발하고자 하는 옹벽에 대한 결합재의 적정 혼합비율 산정 필요

- 플라이이시 콘크리트는 시멘트와 플라이애시의 적정 함량 연구에 따른 친환경 및 재활용 제품이다.

- 플라이애시를 콘크리트에 사용하면 유동성 개선, 수화열 감소, 장기강도 증진, 환경부하 저감, 제조원가의 평균 10~20%를 다운시킬 수 있는 경제성 등의 이점이 있다.

- 그러나 응결시간 지연, 초기강도 저하, 블리딩 증가, 미연소 탄분의 AE제 흡착작용에 따른 연행 공기량 감소(동해 우려), 중성화문제(수명단축) 등의 발생에 주의할 필요가 있다.

표 11.1 플라이애시 특성

굳지 않은 콘크리트 특성	굳은 콘크리트 특성
• 작업성(Workability)향상 • 블리딩(Bleeding) 감소 • 수화열 감소 • 공기량 감소 • 응결시간 지연	• 초기강도 감소, 장기강도 증가 • 수밀성 증가 • 동결융해 저항성 증가 • 건조수축 감소 • 알칼리 골재반응 억제 • 중성화 촉진 • 내투수성 증가 • 내해수성 증가 • 황산염 저항성 증가 • 탄산화 반응 억제

다. 플라이애쉬 콘크리트 패널 기대 효과

(1) 플라이이애시의 특징

(가) 수산화칼슘의 양 감소

• 플라이애시는 수산화칼슘과 결합하여 시멘트 물성을 추가적으로 갖도록하여 수산화칼슘의 양을 감소시킨다.

(나) 콘크리트 내의 미세공극 채움

• 플라이애시는 다른 배합재료들이 채워줄 수 없는 미세공극을 채울수 있다.

(다) 콘크리트 배합에 필요한 수분 감소

• 구형입자의 플라이애시가 블리딩 통로와 공극를을 감소시키는 관계로 콘크리트배합에 필요한 수분을 2~10%가량 줄일 수 있다.

(라) 콘크리트 응결력 강화

• 플라이애시는 플라스터사이징효과(Plasticizing effect)를 통해 콘크리트 내부에 연행된 공기를 균일하게 분포 · 유지시켜줌으로써 콘크리트의 응결력을 강화시킨다.

(마) 콘크리트 내구성 증가

• 콘크리트를 보다 안정적이고 균일하게 조밀하게 하며, 낮은 흡수성과 침투성을 압축강도로 발현하여 콘크리트 내구성을 증가시킨다.

(2) 플라이애시 콘크리트 패널의 기대효과

- 플라이애시는 포졸란 반응에 의해 콘크리트 수화물의 미세공극을 충진하고, 콘크리트 조직을 치밀하게 한다.

- 친환경 콘크리트를 제조하고자 할 경우 시멘트 치환으로 플라이애시를 사용하여 Co_2 발생 저감을 통해 환경부하를 낮추고 작업성을 강화시키며, 블리딩을 억제하고 동결융해 저항성의 증가와 수밀성을 향상시킨다.

- 플라이애시 등을 결합재로 사용한 콘크리트를 이용한 옹벽은 이산화탄소 저감, 열섬현상 저하, 압축강도 강화에 따른 패널의 내구성 강화, 시멘트 치환에 따른 대체재 및 재료비 저하 등으로 패널제조 비용을 절감할 수 있는 경제적 효과를 얻을 수 있다.

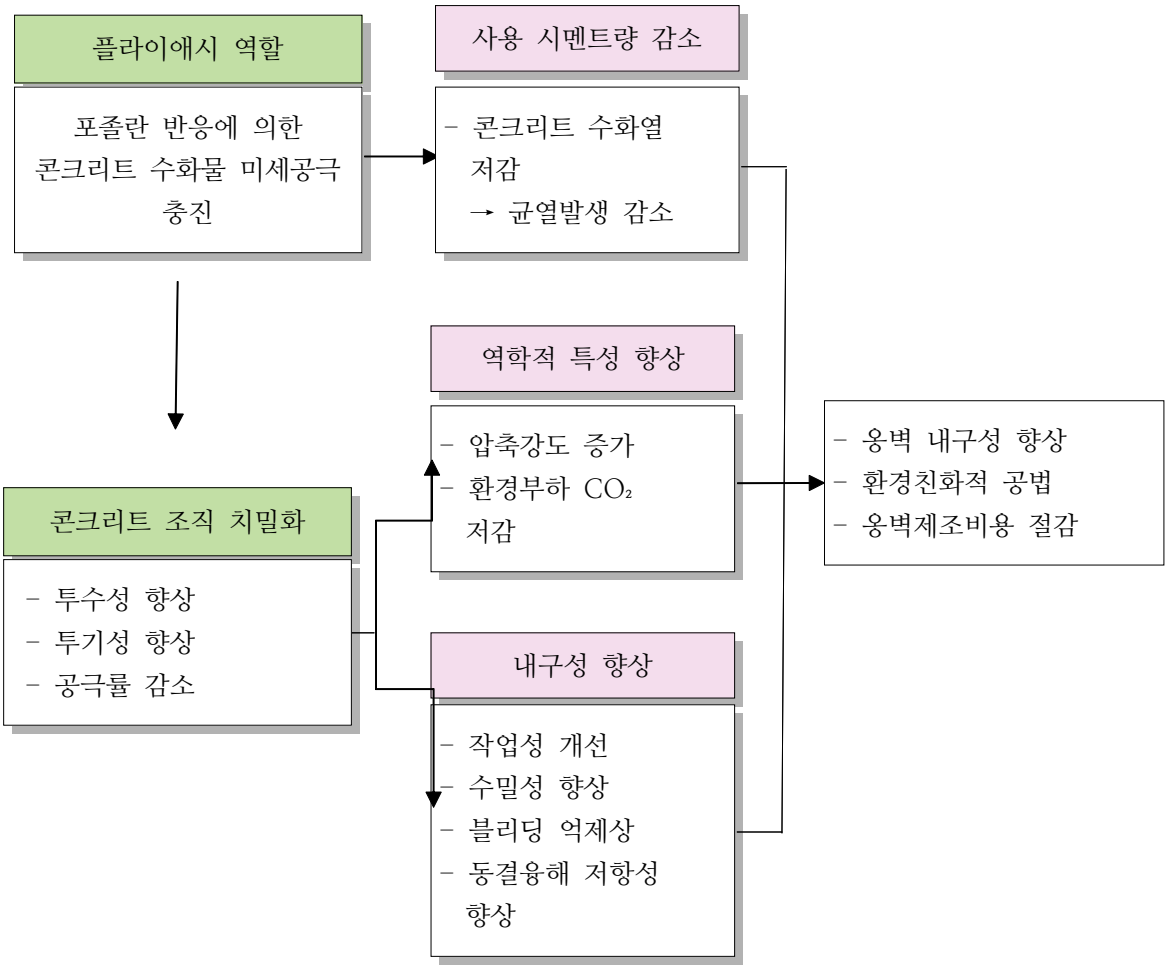


그림 11.2 플라이애시 콘크리트 패널 기대 효과

제 12 장 참고 문헌

1. 학술자료 및 보고서

강인규와 김태훈, 2013, 프리캐스트 모듈러 옹벽(PRM) 공법에 의한 대규모 목장인근 절성토부 옹벽 시공사례, 지반환경, 14(1), 15-26.

강준석, 2010, 압축토(PEM)옹벽의 현장 적용성에 관한 연구, 전북대학교 산업기술대학원 석사학위논문, 57 p.

강호명, 2008, 보강토 옹벽의 시공실패사례분석을 통한 효율적 시공방법에 대한 연구, 경상대학교 산업대학원 석사학위논문, 55 p.

김경석, 도종남, 이상래, 박영호, 2013, 패널식 보강토옹벽 상부 성토 시 적정 보강방안에 관한 사례 연구, 2013 한국지반환경공학회 학술발표회(서울), 145-149.

김문규, 오명주, 윤성호, 2003, 절토사면에 보강압성토(Soil Castle)공법의 적용사례에 관한 연구, 2003 대한토목학회 학술대회, 3913-3918.

김성진, 2012, 국내 보강토 옹벽에 대한 고찰, 한경대학교 산업대학원 공학석사학위논문, 54 p.

김영묵, 고병수, 권정훈, 김민욱, 2009, 절토 사면에서 합벽식 옹벽의 안정성 분석, 2009 대한토목학회 학술대회, 1818-1821.

김장득과 김용하, PAP옹벽에서 역해석을 이용한 사면보강 사례 연구, 지질공학, 19(3), 345-350.

김종석, 2008, 산석옹벽의 적용성 및 타당성 연구, 관동대학교 국토방재대학원 석사학위논문, 65 p.

김한중, 2013, 가압식 강관네일링을 이용한 PC패널 옹벽 공법의 보강 메커니즘 분석, 충남대학교 대학원 박사학위논문, 179 p.

김홍택, 박준용, 유찬호, 2006, 마이크로파일로 보강된 프리캐스트 콘크리트 옹벽의 최적보강형태에 관한 연구, 한국지반공학회논문집, 22(11), 89-99.

마호섭, 강원석, 강은민, 민형식, 박승환, 강윤수, 조광수, 박선옥, 이유나, 김용철, 김남부, 정덕교, 2012, 기후변화 대비 이산화탄소 저감형 생태옹벽 기술 개발, 농림수산식품부 최종연구보고서(11-1541000-001388-01), 192 p.

문준식과 장범수, 2013, 다짐 및 강도특성을 고려한 보강토 옹벽 뒷채움재로서 Caliche의 적합성 검토, 한국방재학회논문집, 13(4), 91-96.

문창열, 2008, 프리캐스트 옹벽 마이크로 파일의 보강 효율, 한국지반환경공학회 논문집, 9(7), 61-71.

민경남, 유병옥, 홍정표, 전종현, 이태선, 무한사면에서의 사면붕괴와 보강대책 사례연구, 터널과 지하공간, 16(2), 146-155.

민경남, 안태봉, 양승준, 백선기, 이태선, 불연속면내 점토충전물을 고려한 사면 안정해석 연구, 터널과 지하공간, 17(3), 175-185.

민경남, 터널막장 단층파쇄대의 지반특성 분석에 대한 사례연구, 터널과 지하공간, 15(2),

111-118.
백승철, 2001, 옹벽 및 사면의 안정성 검토 사례, 공업기술연구논문집, 8(1), 151-158.
변요셉, 류웅렬, 이동호, 천병식, 2010, 절토사면에서 보강토 옹벽의 적용성 연구, 한국지반공학회논문집, 11(2), 53-60.
안태봉, 최승선, 김우기, 2013, 나선형 플렌지가 설치된 앵커파일 프리캐스트 옹벽의 구조적 거동에 관한 연구, 한국지반공학회논문집, 29(11), 129-138.
원명수, 최재선, 김영신, 2011, 절토용 보강토 옹벽, 한국토목섬유학회지, 10(2), 36-40.
유지형, 박인준, 김대성, 2013, 반복하중에 의한 지오그리드-사질토 접촉면 거동, 한국방재학회논문집, 13(6), 335-342.
유충식과 전영우, 2002, 계단식 보강토 옹벽의 거동에 관한 연구, 2002 추계 한국토목섬유학회 학술발표회(서울), 119-128.
유충식과 정혁상, 2003, 계단식 형태의 블록식 보강토 옹벽의 거동특성, 한국토목섬유학회논문집, 2(1), 15-25.
윤성필과 임재승, 2011, 절토부 옹벽 공법의 종류 및 특징비교, 건설기술 l 쌍용, 58, 35-40.
윤준영, 2012, 전면녹화 보강토 옹벽의 안정성에 대한 연구, 경기대학교 대학원 석사학위논문 83 p.
이관희, 차인회, 박경수, 2012, 자연석판을 이용한 조립식 옹벽 공법, 한국지반공학회지, 26(3), 17-25.
이상문, 최창호, 신은철, 2013, 연결강도 변화에 의한 Soilbag 보강토 옹벽 연결부의 안정성 평가, 한국토목섬유학회 논문집, 12(1), 101-107.
이승호, 임재승, 정태영, 신희순, 2003, 공용중인 국도와 인접한 절토부 사면안정성 검토에 대한 사례 연구, 2003 한국구조물진단학회 학술발표회, 163-168.
이일화, 이수형, 최찬용, 금창준, 2006, 강봉으로 보강된 프리캐스트 프리스트레스 옹벽의 동적 안정성 평가, 2006 한국철도학회 학술발표대회논문집, 23-28.
이정호, 2010, 보강토 옹벽 공법의 시공성 개선방안, 한경대학교 산업대학원 공학석사학위논문, 58 p.
이태원, 2013, 재료에 따른 옹벽 경관이미지 선호도 분석에 관한 연구, 한양대학교 공학대학원 석사학위논문, 96 p.
정민규, 김영석, 시부야 사토루, 2012, 패널식 지오텍스타일 보강토 옹벽의 변형메커니즘에 관한 연구, 한국토목섬유학회지, 11(2), 19-25.
정성규, 이광우, 조삼덕, 김주형, 전면 식생형 보강토 옹벽의 표면온도 저감 효과, 한국지반환경공학회논문집, 14(12), 53-60.
조용성, 구호본, 이춘길, 2006, 부직포를 활용한 급경사 녹화보강토공법의 적용 가능성에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 26(4), 239-245.
조재윤, 이관호, 조윤호, 2002, 폐주물사를 이용한 유동성 채움재의 절토구간 옹벽 뒤채움시 사일로토압 및 토압경감효과 연구, 한국도로학회논문집, 4(2), 19-31.
주재우, 박종법, 나현호, 2011, 보강토옹벽의 배부름에 관한 실험적 연구, 한국토목섬유학회

논문집, 10(2), 45-53.
한국지반공학회지, 2009, 신기술 신공법 : PS강봉에 프리스트레스를 도입한 단면력 저감형 조립식 PC옹벽 공법 (국토해양부 제513호), 한국지반공학회지, 25(1), 58-60.
허성훈, 집중호우에 의한 옹벽구조물의 붕괴사례 분석과 시공방법 향상을 위한 연구, 경상대학교 융합과학기술대학원 석사학위논문, 57 p.

2. 도서

Highway Innovative Technology Evaluation Center, 1997, Evaluation of the Tensar Ares Retaining Wall System, American Society of Civil Engineers, ASCE Publication, Washington, 135 p.
Highway Innovative Technology Evaluation Center, 2000, Evaluation of the Key System I Retaining Wall, American Society of Civil Engineers, ASCE Publication, Washington, 90 p.
Highway Innovative Technology Evaluation Center, 2002, Evaluation of the Inter-Lok Retaining Wall System, American Society of Civil Engineers, ASCE Publication, Washington, 53 p.
Ho, K. K. S. and Li, K. S., 2001, Geotechnical Engineering Meeting Society's Needs Vol. 1, CRC Press, Florida, 997 p.
Washington State Department of Transportation, 2013, Geotechnical Design Manual, M46-03, 812 p.

3. 공개 특허공보

공개특허공보, 제10-2003-0039207호(2003. 05. 17), 법면보호블록.
공개특허공보, 제10-2004-0076713호(2004. 09. 03), 영구앵커와 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 옹벽 구조및 옹벽의 시공방법.
공개특허공보, 제10-2007-0043757호(2007. 04. 25), 지압판 및 PC 패널 결합식 옹벽구조 및 그 시공방법.
공개특허공보, 제10-2010-0073220호(2010. 07. 01), 전면자연석이 부착된 옹벽블록.
공개특허공보, 제10-2010-0095970호(2010. 09. 01), 배후토사의 저수조를 구비한 식생옹벽 및 그 시공방법.
등록특허공보, 제10-0763443호(2007. 09. 27), 식생 블록을 이용한 옹벽 구조물 및 그 시공방법.
등록특허공보, 제10-0781492호(2007. 11. 26), 옹벽구조 및 그 시공방법.
등록특허공보, 제10-0966801호(2010. 06. 22), 친환경 옹벽 시스템 및 친환경 옹벽 시공방법.
등록특허공보, 제10-1172432호(2012. 08. 02), 옹벽용 블록의 천연석 장착구조.