2011 지역기술혁신 연구개발사업 최종 연구보고서

R&D / 11CRTI-C059716-01

동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기술 및 설계시공지침 개발연구

2013. 02. 28.

주관연구기관 / 상지대학교 산학협력단

국 토 해 양 부

한국건설교통기술평가원

Land Transport and Maritime R&D Report

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

이 보고서를 “동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침 개발”에 관한 최종 보고서로 제출합니다.

2013. 02. 28

주관연구기관명 : 상지대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 황영철

공 동 연 구 원 : 이승호

연 구 원 : 정지수, 허인영, 최상훈
김동호, 신윤국, 이범규
진현우, 박기병, 김태식

협동연구기관명 : 한국건설기술연구원

협동연구책임자 : 김영진

연 구 원 : 이대영, 이민우, 성기태

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2011.09.30 ~
2013.02.28</td><td>단 계 구 분</td><td>1/1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">국토해양부 지역기술혁신사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리 기준 및 설계시공지침 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">황영철</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 4명
내부 : 2명
외부 : 2명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 180,000천원
기업 : 0천원
계 : 180,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 11명
내부 : 2명
외부 : 9명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 180,000천원
기업 : 0천원
계 : 180,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">상지대학교
산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="5">연구기관명 : 한국건설기술연구원 연구책임자 : 김영진</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">1. 연구 목적
동결지역 피해저감을 위한 지반구조물의 설계시공지침 관련사항의 필요성을 제안하기 위한 연구로서, 동결지역에서의 지속적인 피해를 감소시킴으로써 이러한 문제점의 해결책을 모색하기 위한 것이다.
2. 연구 내용
- 피해대상 지반구조물 조사/분석
- 동결지역에 대한 국외의 설계기준 등을 조사하여 동결피해 대상 구조물 선정
- 동결피해 대상 구조물에 대한 설계/시공방안을 제안
3. 연구개발 결과
- 추운지역에 시공된 구조물이 따뜻한 지역에 시공된 구조물에 비하여 훨씬 더 장기간 보수보강을 필요로 하는 것으로 나타남.
- 장기내구성 저하를 감소시키기 위하여 동결피해지역 터널, 사면, 옹벽, 기초구조물 시공시 피해저감을 위한 설계/시공 가이드라인(안)을 제안 하였다.
4. 연구개발결과의 활용계획
- 본 연구에서는 동결지역의 지반구조물 설계/시공시 피해저감을 위하여 [동결피해지역 지반구조물 설계/시공 가이드라인 - 터널, 사면, 옹벽, 기초]를 제안하였다.
- 본 연구를 통하여 제안된 ‘설계/시공 가이드라인’은 구조물 설치지역의 동결심도가</td></tr>
</table>

싶어, 동결피해가 우려되는 구조물의 설계/시공시 피해저감을 위한 방안을 충분히 활용될 수 있을 것이다. - 본 '가이드라인'을 기반으로 구조물의 동결피해와 관련된 다양한 조사와 연구가 수행된다면, 향후 국가 설계기준 및 시방기준으로의 활용이 가능할 것이며, 이로부터 동결피해로 인한 구조물의 보수보강이 감소하게 되어 경제적 손실 및 대국민 이미지 제고에도 기여할 수 있을 것이다. - 최근 해외시장으로의 진출시, 동결지역에 대한 설계.시공 노하우 및 경험이 없어 매우 어려움을 겪고 있으나, 본 가이드라인을 토대로 동결피해 저감을 위한 다양한 기술의 개발 및 실적이 뒷받침 된다면, 향후 국가 경쟁력 향상에도 도움이 될 것이다. - 평창 동계올림픽의 유치로 강원지역의 구조물 건설이 활발해 지고 있는바, 본 가이드라인을 활용함으로써 강원지역 구조물의 내구성 향상 및 동계올림픽 개최시 국내의 기술수준 향항을 홍보할 수 있을 것이다. - 제안된 가이드라인의 활용 및 관련연구의 활성화를 통하여 정부의 남북한 사업인 연결 가스파이프 라인 추진 등 향후 통일대비 기술력 확보가 가능할 것이다.		
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	강원도, 동결지역, 설계기준, 지반구조물, 뒤채움재, 가이드라인, 관리기준
	영 어	Gangwon-do, Cold Region, Design Code, Earth Structure, Backfill Material, Guideline, Management Standard

요 약 문

Ⅰ. 제 목

동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기술 및 설계시공지침 개발연구

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

강원권 지역기술혁신사업 연구개발 테마 발굴을 통해 도출된 과제로서, 강원권의 애로기술을 해결하고자 하는 과제이다.

강원권역의 경우 우리나라 가장 북쪽에 위치하고 있고, 지대가 높아 연중 기온이 영하로 내려가는 날이 매우 많은 지역이다. 이러한 특성상, 지반과 구조물의 온도변화 차이 등으로 인하여 시공 뿐만 아니라 장기 내구성에 있어서 많은 문제점을 안고 있다. 그러나 국내의 경우 강원도 지역으로부터 제주도에 이르기까지 동일한 설계/시공기준을 적용하고 있어 이에 따른 내구성 저하로 인한 유지관리가 문제시되고 있다.

동결로 인한 내구성 문제는 대표적으로 도로의 동상(frost heave)이 있으나, 이 뿐만 아니라 옹벽 배면토압의 증가, 매설관의 침하 및 동상, 교대 뒷채움재의 동해로 인한 수평토압 증가, 기초 지지력의 감소, 콘크리트 구조물의 내구성감소, 비탈면 보강 구조물의 장기내구성 저하 등이 있을 수 있다.

본 연구는 국내 타 지역에 비하여 연평균 기온이 낮아, 구조물의 장기 내구성이 문제가 되고 있는 강원도 및 저온지역의 지반구조물에 대한 설계 및 시공관리기준 등의 구분 필요성을 연구하고, 필요시 보완을 필요로 하는 기준이나 지침을 제안하는 정책연구이다.

이러한 연구는 동결지역에서의 지속적인 피해를 감소시켜 단기적으로는 구조물의 안정성을 유지시키고, 장기적으로는 구조물의 내구성저하를 감소시키는 것으로, 이러한 문제점을 해결하기 위한 기반을 마련하고자 하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 국내의 경우에도 강원도 뿐만 아니라, 향후 통일대비 연구 내용 및 결과를 축적하기 위하여 동결지역과 관련된 피해저감을 위한 관련제도를 마련해야 할 필요가 있을 것이며, 이를 위한 정책적인 제안을 하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 동결지역 피해저감을 위한 지반구조물의 설계시공지침 관련사항의 필요성을 제안하기 위한 연구로서, 동결지역에서의 지속적인 피해를 감소시켜 단기적으로는 구조물의 안정성을 유지시키고, 장기적으로는 구조물의 내구성저하를 감소시킴으로써 이러한 문제점의 해결책을 모색하기 위한 것이다.

구체적인 연구내용은 동결로 인한 피해대상 지반구조물을 조사/분석하고, 동결지역에 대한 국외의 설계기준 등을 조사하여 동결피해 대상 구조물을 선정하고, 선정된 동결피해 대상구조물에 대한 설계/시공방안을 제안하고자 한다.

동결피해를 받는 대상 지반구조물의 선정을 위하여, 강원지역의 동결피해 현황 조사, 분야별 전문가의 자문, 국외 설계기준 비교 등을 수행하고, 선정된 대상 지반구조물에 대한 기술동향 및 연구동향 조사를 실시한다.

강원지역의 기온을 지역별로 구분하여 동결피해지역을 구분하고, 해당 지역의 구조물을 조사, 분석함으로써 기온별 구조물의 손상빈도를 파악하였으며, 필요시 경기북부 및 남부지방의 구조물 손상빈도를 비교한다.

강원지역의 피해사례는 국토해양부 원주지방국토관리청과 강원도청 산하기관의 자료를 활용하며, 세부적인 실태를 조사하기 위하여 현장조사를 실시한다. 또한 선정 지반구조물의 국내설계기준을 세부적으로 검토하여 동결피해를 저감시키기 위한 방안을 제안하기 위하여 분야별 전문가를 활용한다.

이로부터, 본 연구에서는 강원권역과 추운지역의 기후 특성이 지반에 시공된 구조물의 안정성 및 내구성에 미치는 영향을 조사하고, 이러한 지반구조물의 안정성을 확보하기 위한 설계/시공 관련 방안을 제안하고자 한다.

Ⅳ. 연구개발 결과

본 연구를 통하여, 추운지역에 시공된 구조물이 따뜻한 지역에 시공된 구조물에 비하여 훨씬 더 장기간 보수보강을 필요로 하는 것으로 나타났다. 이러한 장기내구성 저하를 감소시키기 위하여 동결피해지역의 터널, 사면, 옹벽, 기초구조물 시공시 피해저감을 위한 설계/시공 가이드라인을 별도로 제안하였다.

각 구조물의 가이드라인에서는 국내외 동결피해사례의 분석을 통하여 구조물 설계시 동결피해 저감 방안 및 관리방안을 제안하였다. 또한 시공시 고려해야할 요건에 대해서도 예시를 들어 제시하였다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

○ 본 연구에서는 동결지역의 지반구조물 설계/시공시 피해저감을 위하여 [동결피해지역 지반구조물 설계/시공 가이드라인 - 터널, 사면, 옹벽, 기초]를 제안하였다.

○ 본 연구를 통하여 제안된 '설계/시공 가이드라인'은 구조물 설치지역의 동결심도가 깊어, 동결피해가 우려되는 구조물의 설계/시공시 피해저감을 위한 방안을 충분히 활용될 수 있을 것이다.

○ 또한 본 '가이드라인'을 기반으로 구조물의 동결피해와 관련된 다양한 조사와 연구가 수행된다면, 향후 국가 설계기준 및 시방기준으로의 활용이 가능할 것이며, 이로부터 동결피해로 인한 구조물의 보수보강이 감소하게 되어 경제적 손실 및 대국민 이미지제고에도 기여할 수 있을 것이다.

○ 최근 해외시장으로의 진출시, 동결지역에 대한 설계/시공 노하우 및 경험이 없어 매우 어려움을 겪고 있으나, 본 가이드라인을 토대로 동결피해 저감을 위한 다양한 기술의 개발 및 실적이 뒷받침 된다면, 향후 국가 경쟁력 향상에도 도움이 될 것이다.

○ 특히, 평창 동계올림픽의 유치로 강원지역의 구조물 건설이 활발해 지고 있는바, 본 가이드라인을 활용함으로써 강원지역 구조물의 내구성 향상 및 동계올림픽 개최시 국내의 기술수준 향상을 홍보할 수 있을 것이다.

○ 본 연구를 통해 제안된 가이드라인의 활용 및 관련연구의 활성화를 통하여 정부의 남북한 사업인 연결 가스파이프 라인 추진 등 향후 통일대비 기술력 확보가 가능할 것이다.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Evaluation of the soil structure of the ground in order to reduce freeze damage in the region, research and development of design and construction guidelines and management techniques.

Ⅱ. The purpose and necessity of Research & Development

Is an issue that obtained through the research and development of Gangwon regional technology innovation business, it is a challenge to try to resolve the bottleneck technology.

Located in the most northern Korea is areas of Gangwondo, if high zone, the temperature drops below freezing all year round. from the this traits, Due to the difference of the temperature change of the structure and the ground, are having a lot of problems in the long-term durability. however, Domestic case, ranging from the region Gangwon Jeju Island, has applied the criteria / construction the same design. It is seen as a maintenance problem due to a decrease of durability.

Typically, the durability problem by freezing, there are road of frost heave. as well as, Increase in the back of the retaining wall earth pressure, reduction of foundation bearing capacity, underground pipe of Subsidence and frost heave, Decrease the durability of concrete structures and so on.

In this research is Long-term durability of the structure of the Gangwon and cold regions has become a problem. Indicate the need for a classification of construction of this control criterion and design. It is a policy research to provide standards and guidelines for complement if necessary.

Reduce the damage sustained in the freeze damage areas, to maintain the stability of the structure in the short term. By reducing the deterioration of the durability of the structure, in the long term it is intended to develop a foundation for solving these problems.

Therefore, in this research the not only of gangwon in the domestic case , It is in order to accumulate the result and future research of preparation for unification (Democratic People's Republic of Korea). it is necessary to prepare the related systems to reduce damage related of freeze damage areas. It is a policy proposal for that purpose.

Ⅲ. The contents and scope of Research & Development

This research is a study to propose the need for guidelines related matters of design and

construction of soil structures to reduce freeze damage areas. Reduce the damage sustained in the freeze damage areas, to maintain the stability of the structure in the short term. by reducing the deterioration of the durability of the structure, in the long term is intended to develop a for solving these problems.

Concrete research is to analyze/investigate the soil structure damage due to freeze damage areas target. Select the object and freeze damage in the region to investigate the design criteria freeze damage structure overseas. To propose for construction/design of structures in freeze damage that was chosen.

For perform is selection Survey of freeze damage Gangwon region, professional advisory of a field of study, Comparison of overseas design standards for soil structure freeze damage areas. Conducted a survey for research trends and technology trends soil structure that was chosen.

Separate the freeze damaged area to classified by Gangwon region temperatures. it analyze is understand the structure damage frequency of temperatures by examining the soil structure of your area. if necessary Compare the damage frequency of the structure of the Gyeonggi northern and southern Province part of the country.

Damage case of Gangwon region, take advantage of Ministry of Land, Transport and and affiliated organizations Gangwon Provincial Office of Land Management Agency circumference local ministry of Land. an on the spot survey to investigate the actual situation in detail. In addition, we take advantage of professional advisory in order to propose measures to consider the design criteria domestic soil structure.

Therefore, this research is Investigate cold climate local and areas of Gangwon the effects for stability and durability of constructed in the ground the soil structure to property. it is proposal related to the design/construction to ensure the stability of the soil structure.

Ⅳ. Research & Development results

In this research, Structures that have been constructed in cold regions, requires maintenance of a longer period of time than structure that has been constructed in a warm area. We have proposed a separate construction / design guideline to reduce freeze damage areas tunnel, slope, retaining walls, foundation structures in order to reduce the decline in long-term durability.

Through the guidelines of each structure, proposed the management methods and damage reduction measures during the design structures the analysis of freeze damage case at internal and external. In addition. I have suggest to example for consideration at the time of construction.

V. Utilization plan of Research & Development results

- In this research [freeze damage areas of soil structure construction/design guideline - tunnel, slope, retaining walls, foundation] suggested that in order to reduce the damage of freeze areas of soil structure construction/design.

- In this research proposes for "Guidelines for the construction / design" to freeze depth installation area of deep structure. for reducing the damage of the soil structure at the time of construction/design freeze damage is a measure.

- In addition Various investigations and research related to the freeze damage of the structure based on the "Guidelines" is carried. for future it is possible to Design criteria and specifications for the use of national standards. Structural reinforcement repair damage caused by freeze is reduced, it should also contribute to improve the image and economic loss to the nation.

- Recently expanded into overseas markets, if there is not construction / design know-how and experience in the freeze areas. If it is backed and proven technology to reduce freeze damage the basis of guidelines will help to improve national competitiveness in the future.

- In particular, Construction to the structure as being attracting Pyeongchang Olympics is active in areas of Gangwon. improve the durability of the structure to take advantage is guidelines areas of Gangwon. and Can promote the level of technology at the Winter Olympics in korea.

- In this research. In this research the activation of the related research and the use of guidelines, and North-South gas pipeline, ensuring technical capabilities of future unity ratio is possible.

<CONTENTS>

Capt. 1 Introduction ····· 1

Section 1. The purpose and necessity of research & development ····· 1

Section 2. The objectives and content of research & development ····· 2

Capt. 2 Development Status ····· 3

Section 1. Internal technology development status ····· 3

Section 2. External technology development status ····· 3

1. External technology and industry trend ····· 3

2. Patent trend ····· 6

Capt. 3 Research result ····· 10

Section 1. Personnel organization for project propel system ····· 10

1. External technology and industry trend ····· 10

2. Technology trend analysis ····· 15

Section 2. Climate report the present analysis ····· 22

1. Korea Gang-won areas temperature analysis ····· 23

2. Korea southland areas temperature analysis ····· 23

3. Gang-won areas and Cheongenam areas temperature analysis ····· 24

4. Yearly temperature distribution of cold and warm areas ····· 25

Section 3. Gang-won areas freeze damage field survey ····· 27

1. Investigation areas ····· 27

2. Investigation object and method repaired and Reinforced ····· 30

Section 4. Gang-won ground-structure repaired and reinforced ····· 42

1. Summary ····· 42

2. Freezing depth ····· 43

3. Freezing depth ground-structure ····· 47

Section 5. Tunnel field freeze damage mitigation plan ····· 52

1. Summary ····· 52

2. Design basis investigation ····· 58

3. Freeze damage example ····· 66

4. Freeze damage countermeasure method of construction present ····· 82

Section 6. Slope field freeze damage mitigation plan ····· 90

1. Summary ····· 90

2. Design basis investigation ····· 90

3. Freeze damage example ····· 90

4. Freeze damage countermeasure method of construction 96
Section 7. Retaining wall field freeze damage mitigation plan 98
1. Summary 98
2. Design basis investigation 98
3. Freeze damage example 102
4. Freeze damage countermeasure method of construction 105
Section 8. Foundation field freeze damage mitigation plan 109
1. Summary 109
2. Design basis investigation 109
3. Freeze damage example 111
4. Freeze damage countermeasure method of construction 112
Section 9. Design standard and management plan suggest 120
1. Design standard and specifications plan suggest 120
2. Damage assessment measure and method of construction 127

Capt. 4 Goals and the related contribution to the field 135
Section 1. Perform research and development progress 135
Section 2. Attainment of the goal of the research and development 136
Section 3. Related field contribution 136

Capt. 5 Research development result use plan 137

Capt. 6 Foreign scientific and technical information that is collected in the course of research and development 138
Section 1. Foreign scientific and technical information background and purpose 138
Section 2. Foreign scientific and technical information report the present analysis 138
Section 3. Thesis research report the present analysis 139
1. Country-by-country thesis trend 139
Section 4. Patent report the present analysis 141

Capt. 7 Reference 146

<SUPPLEMENT>

1. Freeze areas damage reduction for ground-structure design and construciton guidelines

2. Entrust project report

3. Debate and public hearing

4. Investing method date

5. consultant opinion theorem

<제목 차례>

제 1 장 연구개발과제의 개요 1

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성 1

제 2 절 연구개발의 범위 및 목표 2

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 3

제 1 절 국내 기술개발 현황 3

제 2 절 국외 기술개발 현황 3

1. 국외 기술 및 산업 동향 3

2. 특허 동향 6

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 10

제 1 절 연구 및 기술동향 분석 10

1. 연구동향 분석 10

2. 기술동향 분석 15

제 2 절 기후현황 분석 22

1. 우리나라 강원지역의 온도분석 23

2. 우리나라 남부지역의 온도분석 23

3. 강원지역과 충청이남 지역의 기온차이 24

4. 추운지역과 따뜻한 지역의 연도별 기온분포 25

제 3 절 강원지역 동결피해 현장조사 27

1. 동상의 정의 27

2. 조사지역 30

3. 조사 대상 및 방법 31

제 4 절 강원지역 지반구조물 보수보강 현황 42

1. 구조물의 안전관리체제 42

2. 동결심도 43

3. 동결심도별 지반구조물 보수보강 현황 47

제 5 절 터널분야 동결피해 저감 방안 52

1. 개요 52

2. 설계기준 조사 58

3. 동결피해 사례 66

4. 동결피해 대책공법 82

제 6 절 사면분야 동결피해 저감 방안 90
1. 개요 90
2. 설계기준 조사 90
3. 동결피해 사례 90
4. 동결피해 대책공법 96
제 7 절 옹벽분야 동결피해 저감 방안 98
1. 개요 98
2. 설계기준 조사 98
3. 동결피해 사례 111
4. 동결피해 대책공법 111
제 8 절 기초 분야 동결피해 저감 방안 109
1. 개요 109
2. 설계기준 조사 109
3. 동결피해 사례 111
4. 동결피해 대책공법 112
제 9 절 설계기준 및 관리방안 제안(안) 120
1. 설계기준 및 시방기준 제안(안) 120
2. 동결피해 대상 구조물 손상평가방안 및 관리방안 제안(안) 127

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 135
제 1 절 연구개발 수행 진도율 135
제 2 절 연구개발목표의 달성도 136
제 3 절 관련분야에의 기여도 136

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 137

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 138
제 1 절 해외과학기술정보 배경 및 목적 138
제 2 절 해외과학기술정보 현황 분석 138
제 3 절 논문 연구현황 분석 139
1. 국가별 논문 동향 139
제 4 절 특허 현황 분석 141

제 7 장 참고문헌 146

<부 록> (별첨)

부록1(별첨). 동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 설계시공 가이드라인(안)

부록2(별첨). 위탁과제 보고서

부록3(별첨). 집중토론회 및 공청회

부록4(별첨). 현장조사 자료

부록5(별첨). 자문위원 의견정리

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

강원권 지역기술혁신사업 연구개발 테마 발굴을 통해 도출된 과제로서, 강원권의 애로기술을 해결하고자 하는 과제이다.

강원권역의 경우 우리나라 가장 북쪽에 위치하고 있고, 지대가 높아 연중 기온이 영하로 내려가는 날이 매우 많은 지역이다. 이러한 특성상, 지반과 구조물의 온도변화 차이 등으로 인하여 시공뿐만 아니라 장기 내구성에 있어서 많은 문제점을 안고 있다. 그러나 국내의 경우 강원도 지역으로부터 제주도에 이르기까지 동일한 설계/시공기준을 적용하고 있어 이에 따른 내구성 저하로 인한 유지관리가 문제시되고 있다.

동결로 인한 내구성 문제는 대표적으로 도로의 동상(frost heave)이 있으나, 이뿐만 아니라 옹벽 배면토압의 증가, 매설관의 침하 및 동상, 교대 뒷채움재의 동해로 인한 수평토압 증가, 기초 지지력의 감소, 콘크리트 구조물의 내구성감소, 비탈면 보강 구조물의 장기내구성 저하 등이 있을 수 있다.

본 연구는 국내 타 지역에 비하여 연평균 기온이 낮아, 구조물의 장기 내구성이 문제가 되고 있는 강원도 및 저온지역의 지반구조물에 대한 설계 및 시공관리기준 등의 구분 필요성을 연구하고, 필요시 보완을 필요로 하는 기준이나 지침을 제안하는 정책연구이다.

이러한 연구는 동결지역에서의 지속적인 피해를 감소시켜 단기적으로는 구조물의 안정성을 유지시키고, 장기적으로는 구조물의 내구성저하를 감소시키는 것으로, 이러한 문제점을 해결하기 위한 기반을 마련하고자 하는 것이다.

동결지역과 관련해서는 일본의 경우, 연평균 기온이 낮은 지역을 대상으로 국가 관리기준을 따로 정비하여 운용하고 있으며, 이를 위한 한지토목연구소를 운영하고 있다. 러시아 등에서 동결시 문제로 인하여 국내의 기준과는 상당히 다른 관점에서의 관리를 하는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 국내의 경우에도 강원도뿐만 아니라, 향후 통일대비 연구 내용 및 결과를 축적하기 위하여 동결지역과 관련된 피해저감을 위한 관련제도를 마련해야 할 필요가 있을 것이며, 이를 위한 정책적인 제안을 하고자 한다.

제 2 절 연구개발의 범위 및 목표

본 연구는 동결지역 피해저감을 위한 지반구조물의 설계시공지침 관련사항의 필요성을 제안하기 위한 연구로서, 동결지역에서의 지속적인 피해를 감소시켜 단기적으로는 구조물의 안정성을 유지시키고, 장기적으로는 구조물의 내구성저하를 감소시킴으로써 이러한 문제점의 해결책을 모색하기 위한 것이다.

구체적인 연구목표는 동결로 인한 피해대상 지반구조물을 조사/분석하고, 동결지역에 대한 국외의 설계기준 등을 조사하여 동결피해 대상 구조물을 선정하고, 선정된 동결피해 대상구조물에 대한 설계/시공방안을 제안하고자 한다.

동결피해를 받는 대상 지반구조물의 선정을 위하여, 강원지역의 동결피해 현황 조사, 분야별 전문가의 자문, 국외 설계기준 비교 등을 수행하고, 선정된 대상 지반구조물에 대한 기술동향 및 연구동향 조사를 실시한다.

강원지역의 기온을 지역별로 구분하여 동결피해지역을 구분하고, 해당 지역의 구조물을 조사, 분석함으로써 기온별 구조물의 손상빈도를 파악하였으며, 필요시 경기북부 및 남부지방의 구조물 손상빈도를 비교한다.

강원지역의 피해사례는 국토해양부 원주지방국토관리청과 강원도청 산하기관의 자료를 활용하며, 세부적인 실태를 조사하기 위하여 현장조사를 실시한다. 또한 선정 지반구조물의 국내설계기준을 세부적으로 검토하여 동결피해를 저감시키기 위한 방안을 제안하기 위하여 분야별 전문가를 활용한다.

이로부터, 본 연구에서는 강원권역과 추운지역의 기후 특성이 지반에 시공된 구조물의 안정성 및 내구성에 미치는 영향을 조사하고, 이러한 지반구조물의 안정성을 확보하기 위한 설계/시공 관련 방안을 제안하고자 한다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

국내의 경우 동결피해 대상 구조물과 관련한 별도의 지침은 마련되어 있지 않은 상태이고, 동결피해와 관련해서는 주로 도로 포장을 위한 동결지수 및 동상방지층 관련 연구가 주를 이루고 있다. 현재 국가기준의 미비로 인해 국내의 기술수준은 매우 낙후된 상태이며, 따라서 관련 산업도 거의 전무한 상태이다. 최근 남극의 세종기지 건설을 계기로 한국건설기술연구원에서 극지연구팀을 운영하고 있으며, 최근 POSCO에서는 한지 제설을 위한 에너지 파일 개발을 위한 연구가 계획중에 있는 상태이다.

제 2 절 국외 기술개발 현황

1. 국외 기술 및 산업 동향

가. 미국

미공병단 한지공학연구소(CRREL), 알라스카대학(앵커리지캠퍼스, 페어뱅크 캠퍼스), 미국 극지연구소, 미시간대학을 중심으로 동토지역의 각종 토목, 건축구조물 및 과학기지, 에너지 시설에 대한 연구를 세계 최고 수준으로 수행하고 있다.

특히 영구동토지대인 알라스카에서는 각종 군사기지(미사일 발사대 기초, 레이다 기지 기초, 비행장 포장 등) 및 군사시설에 연결된 민간 토목(도로, 철도), 건축구조물의 동결피해 방지 연구를 미소 냉정시대부터 활발하게 수행하고 있다.

미 연방정부 차원에서 알라스카 횡단 석유 파이프라인, 가스 파이프라인 등 에너지 시설물의 건설 및 동해방지에 대한 연구를 대학, 민간연구소, 미공병단 한지공학연구소가 공동으로 수행하였다.

최근 우주 및 달이나 화성과 같은 극저온 환경에서의 건설활동에 필요한 재료개발, 건설장비 개발 연구도 활발하게 전개하고 있다.

나. 일본

30년 이상 일본 중북부 지역의 동결 깊이를 실측한 결과를 바탕으로 도로, 철도, 매설관, 에너지 파이프라인 기초, 건물 기초 등에 대한 연구를 통해 피해를 최소한으로 줄이고 있다. 자국의 기후조건 및 지반조건에 맞는 동결깊이 산정식이 개발되어 있어 이를 활용하여 각종 토목, 건축구조물 매설 깊이를 결정한다.

북해도대학 저온과학연구소, 일본 과학기술성, 에너지성 등이 공동으로 러시아 가스 및 석유 수송 파이프라인을 건설하기 위한 연구를 10년 이상 장기간 수행한 바 있다. 북해학원대학, 독립행정법인 토목연구소 한지토목연구소에서는 도로의 동상 대책, 동해방지 기준 등을 주로 연구한다. 일본 극지연구소에서는 극지의 과학기술실험물, 에너지 시설물, 혹한 기상 기후에 대한 연구를 실시하고 있다. 시미즈 건설, 다이세이건설 등에서는 천연가스 저장 탱크용 각종 건설 재료(콘크리트, 강철)에 대한 연구를 수년간 수행하였고, 도로 관련 작은 전문건설회사에서 도로 축조용 흙, 화산재, 아스팔트, 산업부산물에 대한 동결특성 및 동해 방지에 대한 연구가 최근 활발하게 이루어지고 있다. 토목연구소 한지토목연구소 및 건설교통성 등에서 다양한 토목, 건축, 에너지 시설물의 동해방지 기준을 제정 및 개정하고 있다.

최근 북해도의 키타미대학 에서는 동토지대 옹벽이나 도로 배수로의 동상피해방지 관련 연구를 수행하고 있다.

다. 캐나다

NRC(National Research Council)을 중심으로, 캐나다 극지연구소, 퀘백의 Laval대학, 캘거리의 Alberta대학 등에서 동토지대 토목구조물, 건축 구조물의 설계, 시공 기준에 대한 연구를 활발히 수행하였다.

캐나다 북부의 영구동토지대 에너지 개발용 시설물, 도로, 건축물 기초에 대한 연구 개발이 NRC를 중심으로 수행되었다. 캐나다 극지연구소에서는 남극 과학기지 건설을 통한 얼음과 눈, 극한기후 등에 대한 연구를 다수 수행하였다.

라. 러시아

야쿠츠크 동토연구소, 블라디보스토크의 극동대학, 모스크바대학, 상트 페테르부르그의 러시아 극지연구소 및 VNIIG에서 동토관련 연구를 주로 수행한다.

야쿠츠크 동토연구소에는 천연 동상실험실이 갖추어져 있고, 구 소련시절에는 영구동토지대 파이프라인이나 토목, 건축 구조물 기초의 기준 관련 연구를 활발하게 수행하였다.그러나, 소련이 붕괴된 후 동토학자들이 대거 미국이나 서방 세계로 이주하였다. 최근에는 블라디보스토크의 극동대학에서 동토지대 콘크리트 및 건설재료 설계, 시공 기준에 관한 연구를 하고 있다.

상트 페테르부르그의 러시아 극지연구소는 영구동토지대 관련하여 세계 최다의 연구진

을 갖추고 있고, 최근 남·북극 빙하 밑의 지하자원 개발에 연구의 중점을 두고 있다. 상트 페테르부르그의 VNIIG에서는 동토지대 수력구조물(댐, 저수로, 제방 등)에 관한 연구와 동결된 암반 및 동토 처리에 관한 연구를 수행한다.

마. 스웨덴

스웨덴 북부의 Luleo대학에서 동토지대 도로 동상방지층 설치 기준, 도로 동상 방지재료, 건축물 기초 설계 기준과 동절기 건설재료의 내구성 및 얼음, 눈 등을 건설재료로 활용하는 연구를 활발하게 수행하고 있다.

링최핑에 있는 SGI 및 스웨덴 도로교통 연구소 에서는 동토 연구의 창시자 Beskow 박사가 1935년부터 활발하게 동토연구를 수행한 바 있으며, 지금까지 그 맥을 이어 암반 및 흙의 열적 특성이나 동토지대 사면붕괴 방지 관련 연구를 수행하고 있다.

바. 핀란드

헬싱키의 VTT 및 헬싱키 공대에서 영구동토지대 도로의 동결깊이 산정식, 도로포장 동결방지 설계 기준, 건축물 기초의 동상방지 기준, 동토지대에서의 건설장비 운용 및 지반조사 등 건설공사 관련 많은 분야에 관하여 연구하였다.

Tampere대학에서는 동토지대 교량의 유지 보수 방법 등에 대한 연구를 수행한 바 있다.

사. 스위스

로잔느대학 토목공학과에서는 도로 동상방지재료, 동결깊이 산정식 등에 대하여 연구하고 있고, 취리히대학 토목공학과에서는 알프스 산맥의 영구동토에 대하여 연구를 수행하고 있다.

아. 노르웨이

오슬로에 있는 도로연구소 및 노르웨이 과학기술대에서 도로의 동결깊이 산정식, 동절기 도로의 건설재료 설계 시공 기준, 한중 콘크리트 등에 대하여 연구하고 있다.

자. 영국

캠브리지대학의 극지연구센터에서는 세계 각국의 극지 및 동토 관련 정보를 관리하고 있고, 영국 극지연구소를 중심으로 동토지대에서의 차량 운행 방법, 영구동토용 건설 재료에 대한 연구를 부분적으로 수행하고 있다.

2. 특허 동향

가. 개요

동결지역 토목구조물의 동해방지와 관련된 분야의 국내외 선행특허를 조사하여 세계의 기술현황을 파악하고, 향후 필요한 기술 수요를 예측하는데 활용하고자 한다.

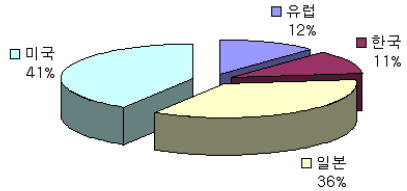
나. 특허 분석 범위

(1) 분석의 범위는 분석기간을 1970년부터 2005년까지 30년간으로 하였다.

(2) 분석에 사용된 특허정보 분야는 영구동토지역의 기후, 지형, 지반특성 조사 및 토목 시공기술과 특수재료 관련 기술을 대상으로 하였으며, 이중 “지반조사”, “계측”, “토목재료”, “시공기술”, “시추”, “에너지 수송 관련 기술”, “특수소재”, “인공동결공법”, “기타”의 총 9개 세부기술로 나누어 분석을 실시하였다.

다. 국가별 현황 및 연도별 특허 등록

분석에 사용된 총 159건의 특허 가운데, 미국과 일본에서 출원/등록된 특허가 122건으로 약 77%를 차지한다. 1970년부터 2005년까지 국내에서 출원/등록된 특허는 18건으로 전체의 11%다.



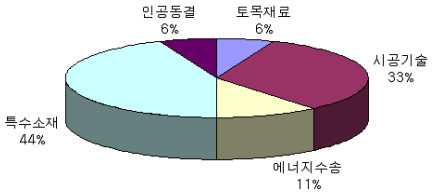
<그림 2.1> 국가별 특허 등록 현황

라. 한국

(1) 국내 특허는 동절기 토목시공 분야와 극저온용 재료분야가 많다.

(2) 국내의 특허는 주로 1990년도 중반 이후에 편중되어 있으며, 시추기술 및 지반조사에 관한 특허는 없고 동절기 시공기술과 극지용 철강 소재에 관한 특허가 주를 이루고 있다.

(3) 2000년 이후로 천연가스 수송과 관련한 특허가 2건이 있으며, 이는 최근 새로운 에너지로서 천연가스가 대두되고 있는 현실과 연관성이 높다.

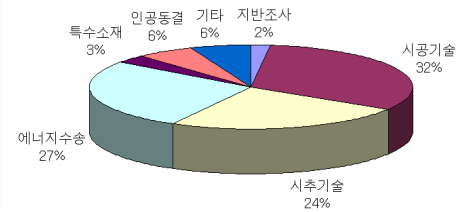


<그림 2.2> 한국의 세부 기술별 특허 비중

마. 미국

(1) 미국내 특허는 극한환경에서의 시공기술과 시추기술 및 에너지 수송과 관련한 기술들이 주를 이룬다. 알래스카 Pipe line 공사와 극지 시추 및 지반조사와 관련한 특허들이 많으며, 시기적으로 1970년대에서 1980년대에 편중되어 있다.

(2) 최근에 등록된 특허로는 천연가스 수송과 관련한 특허와 영구동토지역의 건설공사와 관련된 특허가 있다.

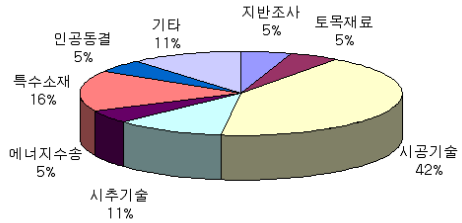


<그림 2.3> 미국의 세부 기술별 특허 비중

바. 유럽

(1) 유럽은 시공관련 기술이 42%를 차지한다. 전체 특허 건수는 20건이다.

(2) 대부분의 특허가 1990년대 이후에 편중되어 있으며, 주로 영구동토지역 시공과 시추 기술이다.



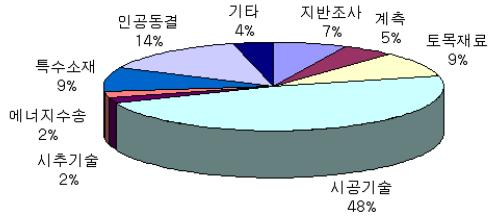
<그림 2.4> 유럽의 세부 기술별 특허 비중

사. 일본

(1) 일본은 동토 관련 기술개발이 타 국가와 비교해 활발히 이루어지고 있는 편으로서 특허등록 건수가 1970년부터 2005년까지 고루 분포되어 있으며, 다양한 종류의 특허를 등록하였다.

(2) 인공동결공법에 대한 다양한 특허기술이 등록되어 있다.

(3) 구조물의 동상방지를 위한 기초시공 기술이 특허로 등록되어 있다.



<그림 2.5> 일본의 세부 기술별 특허 비중

(아) 결론

(1) 분석에 사용된 특허정보는 영구동토 지역의 지반특성 조사 및 토목시공기술 및 재료, 특수재료 관련 기술을 대상으로 하였으며, 이중 “지반조사”, “계측”, “토목재료”, “시공기술”, “시추”, “에너지 수송 관련 기술”, “특수소재”, “인공동결공법”, “기타”의 총 9개 세부기술로 나누어 분석하였다.

(2) 영구동토 건설분야의 기술은 그 분야가 다양하지 않으며, 국가별로 특정 분야에 한정되어 있는 실정이다.

(3) 영구동토 건설과 관련하여 미국과 일본의 출원/등록 건수가 지배적이다.

(4) 국내에서는 1990년 중반 이후부터 특허/출원건수가 증가하고 있으며, 동절기 시공기술과 극지용 철강소재에 관한 특허 기술이 대부분을 차지하고 있다.

(5) 미국의 경우 약 40여건의 특허등록이 70년대에 이루어졌으며, 대부분이 영구동토 지역의 에너지 수송 및 시추기술과 관련한 특허다. 일본의 경우 90년대 이후로 특허 출원이 급증하였고, 주목해야 할 특허로는 동상방지 지반보강기술 등이 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구 및 기술동향 분석

본 연구에서는 동결피해를 받는 지반구조물의 피해를 저감시키기 위한 방안을 제안하기 위하여, 다양한 지반구조물 중 연구대상 지반구조물을 우선 선정하였다. 대상지반구조물의 선정을 위하여 학회(한국지반공학회)와 기술사회(한국토질및기초기술사회)의 전문분과 위원들을 대상으로 동결피해를 저감시키기 위한 제도적 마련이 필요한 구조물 분야를 논의하였으며, 논의 결과 터널, 사면, 옹벽, 기초 분야를 선정하였고, 본 연구에서는 이 4가지 구조물에 대한 피해저감 방안을 제안하고자 하였다.

연구 및 기술동향 분석을 위한 대상국가는 일본, 미국, 캐나다, 중국 및 유럽 국가를 주 대상으로 하여 조사분석하였다.

1. 연구동향 분석

가. 분석대상 논문

연구동향 분석을 위하여 논문검색을 실시하였으며, NDSL 검색DB를 이용하여 전 국가를 기준으로 논문공개 및 등록된 전체문서를 기존의 자료부터 최근의 자료까지 검색을 하였다.

<표 3.1> 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개논문	전 국가	NDSL	~ 현재(검색일)	논문공개 및 등록 전체문서

나. 기술분류체계

분석을 실시함에 있어 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술에서 4개의 기술 분야로 나누어 분류 하였다.

<표 3.2> 분석대상 기술분류기준

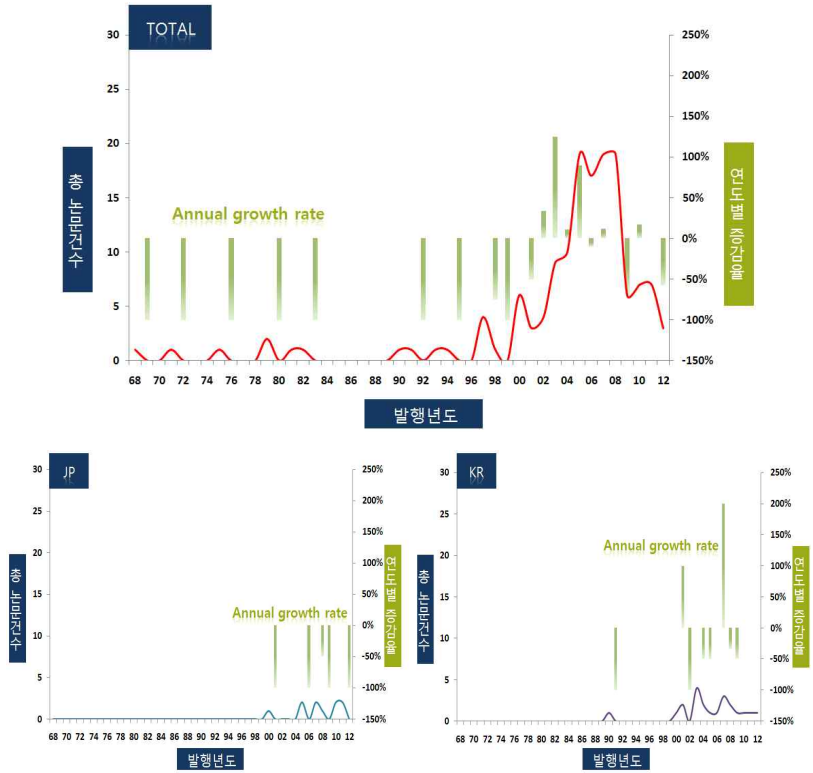
과제명(대분류)	중분류	검색개요 (기술범위)
동결피해지역 피해저감을 위한	A(터널)	동결피해지역과 관련하여 터널 분야를 기술범위로 함

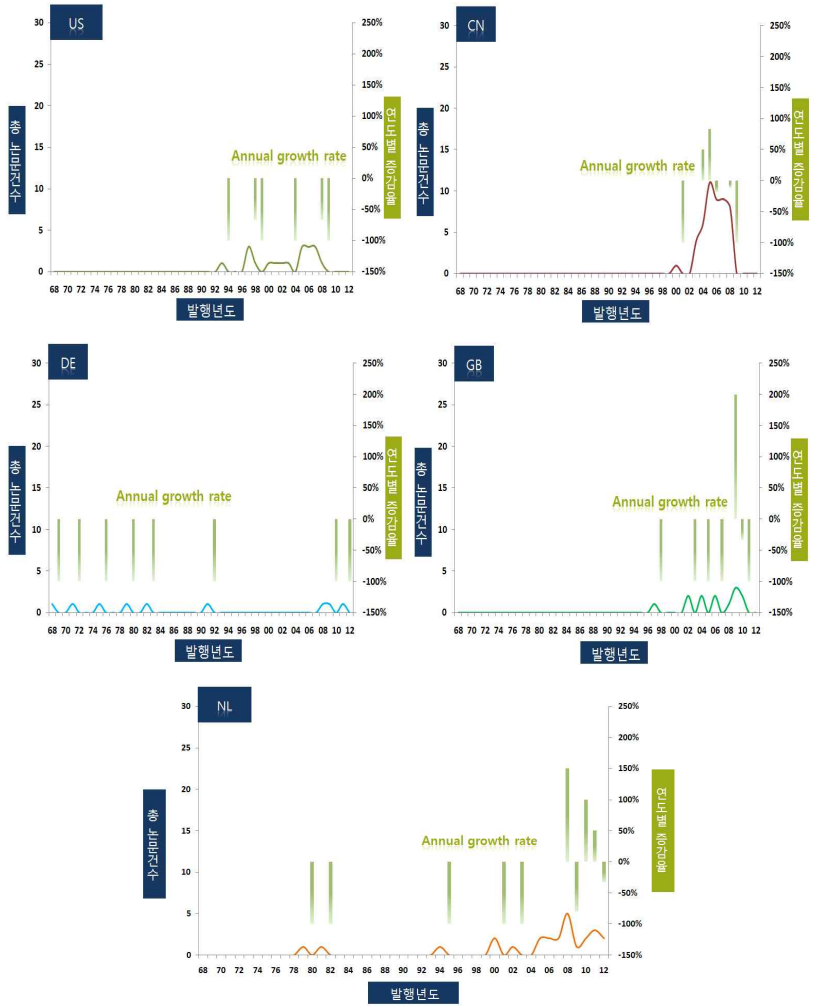
과제명(대분류)	중분류	검색개요 (기술범위)
지반구조물 평가 · 관리기준 및 설계시공지침개발	B(사면)	동결피해지역과 관련하여 사면 분야를 기술범위로 함
	C(옹벽)	동결피해지역과 관련하여 옹벽 분야를 기술범위로 함
	D(기초)	동결피해지역과 관련하여 기초 분야를 기술범위로 함

다. 분석방법

(1) 국가별 논문동향 분석

국가별 논문동향분석에서는 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발기술과 관련하여 전 세계 국가 중, 과제의 주요내용과 관련성이 높다고 평가되는 일본, 미국, 캐나다, 중국 및 유럽 국가에 대한 분석을 통해 논문에 의한 본 기술의 기술수준 및 기술개발 활동현황을 분석하였다.





<그림 3.1> 국가별 연도별 논문 동향

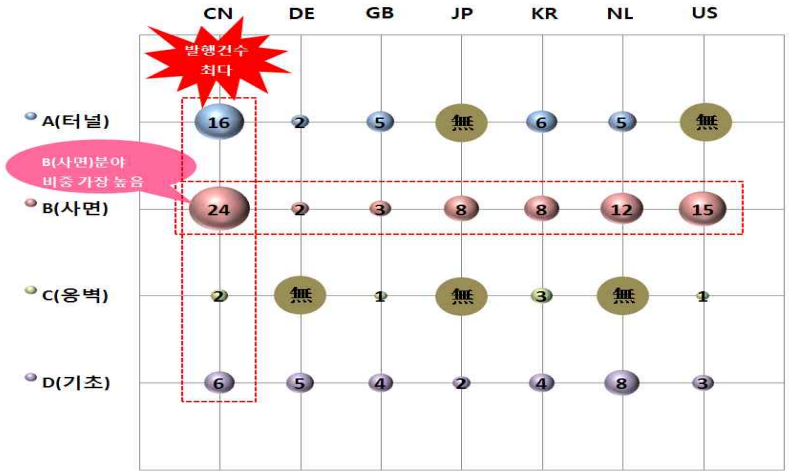
본 연구관련 기술 분야에 대한 발행연도별 논문동향을 살펴보면, 1968년부터 1990년대 중반까지 산발적인 논문 발행만이 존재하고 있었으나, 1990년대 후반부터 급격히 논문 발행이 증가하여 2008년까지 활발하게 논문 발행이 이루어진 것으로 나타났다. 다만, 2008년을 기점으로 최근까지는 논문 발생이 감소하고 있는 것으로 조사되었다.

전체적으로 특허동향에 비하여 2000년대 이전의 논문 발행건수가 크게 빈약하게 나타

나는 것으로 보아, 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술 분야의 논문활동이 특허활동에 비해 비교적 늦게 활발해진 것으로 보인다.

(2) 세부기술 논문동향 분석

세부기술별 논문동향 분석에서는 세부기술별로 구간별 논문발행 동향, 주요발행국별 세부기술 동향, 다발행인의 논문동향 등을 분석하고, 이를 분석한 의미가 시장·환경 분석 결과를 반영할 수 있도록 하여, 시장·환경과 논문동향과의 관계를 분석하며, 본 과제에 대한 연구가 어떻게 이루어지고 있는지 분석하였다.



<그림 3.2> 국가별 세부기술별 동향

국가별 세부기술별 논문 동향을 살펴보면, 전체적으로 A(터널) 기술 분야, B(사면) 기술 분야는 중국에서의 발행이 가장 많았고, C(옹벽) 기술 분야는 한국에서의 발행이 가장 많았으며, D(기초) 기술 분야는 네덜란드에서의 발행이 가장 많게 나타났다.

중국의 경우, A(터널) 기술 분야, B(사면) 기술 분야의 발행이 다른 국가들에 비해 압도적이고, 그에 따라 전체적인 발행건수 또한 다른 국가들에 비해 압도적으로 많음을 알 수 있다.

중국에 발행된 세부기술 중 가장 출원건수가 많은 기술 분야는 B(사면) 기술 분야로 24건의 발행이 이루어진 것으로 나타났다.

(3) 분석 결론

(가) 국가별 현황분석 결과

본 연구과제 관련 기술분야의 세부 기술에 대한 논문발행국가는 중국, 한국, 일본, 미국, 독일, 네덜란드, 영국으로 나타나고 있고, 이와 관련한 논문이 존재하고 있으나, 기술범주 및 세부 기술에 대한 폭넓고 광범위한 영역의 논문발행은 이루어지지 않고 있는 것으로 나타났다.

논문 동향에서 볼 때, 타 국가들에 비해 상대적으로 많은 논문 발행이 이루어지는 국가는 중국으로 나타났으며, 특허 동향에서 가장 많은 출원이 이루어진 일본은 논문에서 하위권에 머물러 있는 것으로 보아, 논문에 의한 본 기술 분야의 연구개발보다 특허에 의한 기술선점이 활발하게 이루어지는 것으로 나타났다.

다만, 각 주요발행국들에 의한 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술 분야의 논문발행이 다소 미미한 편이므로, 연구개발시 이를 참고하야여 할 것으로 보였다.

(나) 세부기술 현황분석 결과

전체적으로 볼 때, 논문발행의 비중이 가장 큰 세부기술은 B(사면) 기술 분야이고, 비중이 가장 작은 세부기술은 C(옹벽) 기술 분야로 나타나는데, C(옹벽) 기술 분야의 경우, 2000년대 이전까지는 논문발행이 이루어지지 않다가 2000년대 이후에 들어서서 논문발행이 이루어진 걸로 보아, 최근 C(옹벽) 기술 분야에 대한 관심이 나타나 논문에 의한 연구개발로 이어진 것으로 보이므로, C(옹벽) 기술 분야에 대한 기술 개발 가능성이 있다고 판단된다.

특히, 논문 동향에서 가장 활발히 연구개발이 진행되는 중분류는 B(사면) 기술 분야로 발행국가들이 가장 큰 관심을 보이는 기술 분야로 나타났다.

(다) 종합결론

전체적으로 논문동향에서 보여지는 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술은 아직 그 관심도 및 연구개발이 활발하지 않은 것으로 나타났다.

따라서, 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술에 대한 전략적인 연구개발 및 폭 넓은 지원이 시급한 것으로 사료된다.

2. 기술동향 분석

가. 분석목적

국내외 특허현황과 국가별 기술경쟁력 동향의 분석을 실시하고, 최근 부상기술 등을 도출하여, 전략전인 연구개발 계획 수립에 활용할 수 있도록 함으로써, 중복연구를 방지하고, 본 연구개발과제 수행의 타당성에 대한 객관적인 정보를 제공하는데 목적이 있다.

나. 분석범위

<표 3.3> 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	Thomson innovation	~ 현재(검색일)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본	Thomson innovation		특허공개 및 등록 전체문서
	캐나다	Thomson innovation		특허공개 및 등록 전체문서
	미국	Thomson innovation		특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
	유럽	Thomson innovation		EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

※ 분석구간: 한국, 일본, 캐나다, 미국, 유럽 - 2011년 이전(출원년도 기준)

(1) 기술분류체계

분석을 실시함에 있어 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술에서 4개의 기술 분야로 나누어 분류 하였다.

<표 3.4> 분석대상 기술 분류기준

과제명(대분류)	중분류	검색개요 (기술범위)
동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가 · 관리기준 및 설계시공지침개발	A(터널)	동결피해지역과 관련하여 터널 분야를 기술범위로 함
	B(사면)	동결피해지역과 관련하여 사면 분야를 기술범위로 함
	C(옹벽)	동결피해지역과 관련하여 옹벽 분야를 기술범위로 함
	D(기초)	동결피해지역과 관련하여 기초 분야를 기술범위로 함

다. 유효특허 선별 기준 및 결과

동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 Raw Data(표 3.5 참조)에 대한 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용하였다.

<표 3.5> 분석대상 기술 분류

과제명(대분류)	중분류	노이즈제거 및 유효특허추출기준
동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가 · 관리기준 및 설계시공지침개발	A(터널)	동결피해지역에서 발생되는 터널의 동결피해를 예방 또는 저감할 수 있는 기술에 대하여 유효특허로 추출함
	B(사면)	동결피해지역에서 발생되는 사면의 동결피해를 예방 또는 저감할 수 있는 기술에 대하여 유효특허로 추출함
	C(옹벽)	동결피해지역에서 발생되는 옹벽의 동결피해를 예방 또는 저감할 수 있는 기술에 대하여 유효특허로 추출함
	D(기초)	동결피해지역에서 발생되는 기초의 동결피해를 예방 또는 저감할 수 있는 기술에 대하여 유효특허로 추출함

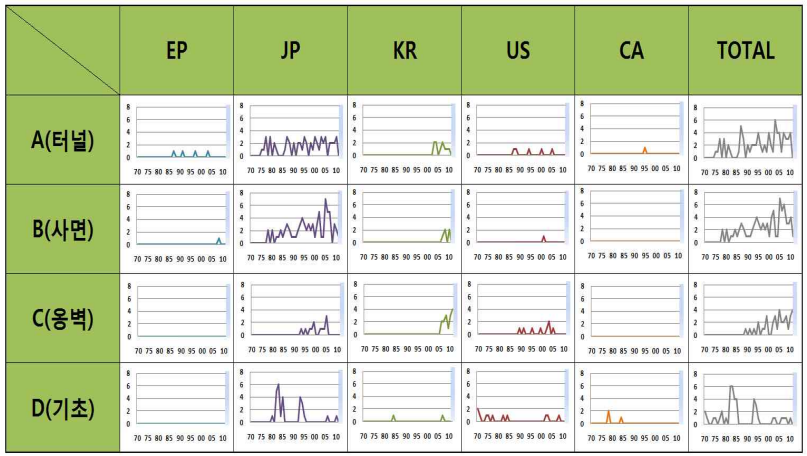
<표 3.6> 본 과제의 유효특허 선별결과

중분류	유효데이터 건수					
	한국	미국	일본	유럽	캐나다	계
A(터널)	10	5	55	4	1	75
B(사면)	5	1	75	1	0	82
C(옹벽)	15	8	12	0	0	35
D(기초)	2	11	27	0	3	43

라. 특허동향으로 본 세부기술

(1) 세부기술별 출원증가율 및 점유율 분석

(가) 세부기술별 추세선을 통한 출원증가율 분석



<그림 3.3> 세부기술별 추세선 분석

동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술 분야의 세부기술별/국가별 추세 분석에 따르면, 본 기술 분야는 중분류 A(터널), B(사면), D(기초) 기술 분야에서 최근 전체적으로 감소세에 있고, 중분류 C(옹벽) 기술 분야에서 최근 전체적으로 증가세에 있는 것으로 나타나고 있다.

한국의 경우, D(기초) 기술 분야의 출원이 아주 낮지만, A(터널), B(사면), C(옹벽) 기술 분야의 출원은 2000년대 중반을 전후하여 지속적으로 계속되고 있고, 그 중 C(옹벽) 기술 분야의 출원은 전체적으로 2005년부터 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다.

일본의 경우, A(터널) 기술 분야는 1970년대 중반부터 현재까지 지속적으로 증감을 보이며 출원 활동이 진행되고 있으나, 전체적으로 크게 감소하지도 크게 증가하지도 않는 모습을 보이고 있다.

일본의 경우, B(사면) 기술 분야는 전체적으로 1970년대 중후반부터 2000년대 중반까지 지속적으로 증가하는 추세를 보이다가, 이 후 현재까지 급감하는 추세를 보이고 있다.

일본의 경우, C(옹벽) 기술 분야는 1990년대 초중반에서 1990년대 후반까지 미세한 상

승폭을 보이다가 2000년대 들어서 급감하고, 2000년대 초반부터 다시 증가하여, 2000년대 중반 정점을 찍은 뒤 급감하여 이 후 현재까지 출원 활동이 나타나지 않다.

일본의 경우, D(기초) 기술 분야는 1980년대 초중반과 1990년대 초중반 출원 활동이 활발한 편이였으나, 그 이후에는 산발적으로 미미한 출원 활동만이 나타나는 실정이다.

미국의 경우, A(터널) 기술 분야는 1980년대 중후반부터 2000년대 중반까지 산발적으로 미미한 출원 활동만이 나타나고 있다.

미국의 경우, B(사면) 기술 분야는 2000년대 초반 소수의 출원만이 존재할 뿐, 그 전이나 그 후에도 출원 활동이 전무하다.

미국의 경우, C(옹벽) 기술 분야는 1980년대 후반부터 2000년대 중반까지 산발적으로 미미한 출원 활동만이 나타나고 있다.

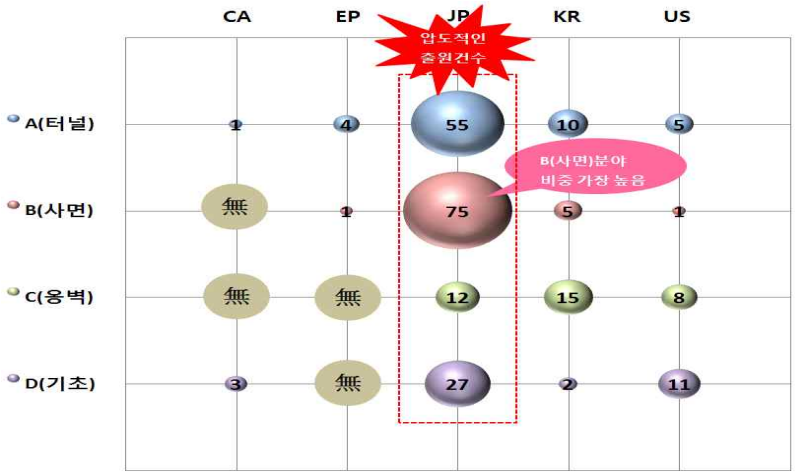
미국의 경우, D(기초) 기술 분야는 1970년대 초반부터 1980년대 중반까지 산발적으로 출원 활동이 나타나다가, 그 이후 2000년대에 들어서기까지 출원 활동이 전무하였고, 2000년도 초반부터 2000년도 후반까지 다시 산발적인 출원 활동만이 나타나고 있다.

유럽은 C(옹벽), D(기초) 기술 분야의 출원이 전무하고, 캐나다는 B(사면), C(옹벽) 기술 분야의 출원이 전무하며, 유럽과 캐나다의 출원이 존재하는 기술 분야에 있어서도 그 출원건수가 아주 미미하여 출원 증가율을 분석하기에는 미흡하다 판단된다.

각 주요국을 전체적으로 볼 때, D(기초) 기술 분야의 출원은 1980년대와 1990년도에 비해 2000년대 진입하며 점차 감소한 듯 보이고, A(터널), B(사면), C(옹벽) 기술 분야의 출원은 2000년대 들어서 더욱 활발해 진 것으로 나타났다.

다만, C(옹벽) 기술 분야의 출원은 최근 들어서도 증가 추세를 보이지는 반면, A(터널), B(사면) 기술 분야의 출원은 최근 들어 다소 감소하는 추세이다.

(2) 세부기술별 출원증가율 및 점유율 분석



<그림 3.4> 국가별 세부기술별 동향

국가별 세부기술별 동향을 살펴보면, 전체적으로 A(터널) 기술 분야, B(사면) 기술 분야, D(기초) 기술 분야는 일본에서의 출원이 가장 많았고, C(옹벽) 기술 분야는 한국에서의 출원이 가장 많은 것으로 나타난다.

일본의 경우, A(터널) 기술 분야, B(사면) 기술 분야, D(기초) 기술 분야의 출원이 다른 국가들에 비해 압도적이고, 그에 따라 전체적인 출원건수 또한 다른 국가들에 비해 압도적으로 많음을 알 수 있다.

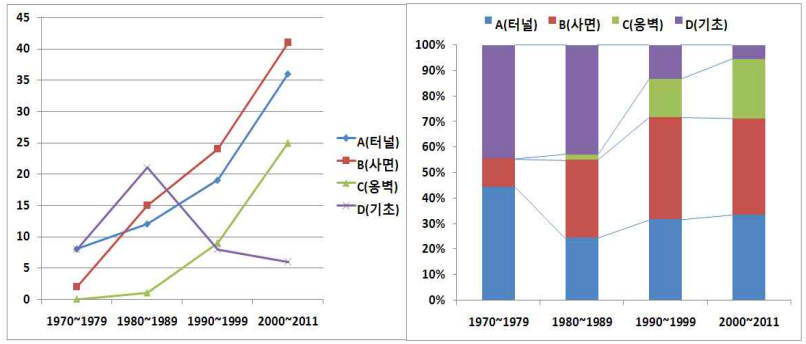
일본에 출원된 세부기술 중 가장 출원건수가 많은 기술 분야는 B(사면) 기술 분야로 75건의 출원이 이루어진다.

캐나다의 경우, B(사면) 기술 분야, C(옹벽) 기술 분야가 출원이 존재하지 않는 공백기술로 나타나며, 유럽의 경우, C(옹벽) 기술 분야, D(기초) 기술 분야가 출원이 존재하지 않는 공백기술로 나타났다.

캐나다와 유럽은 각각 총 출원건수가 4건, 5건으로 다른 국가들에 비해 출원건수가 아주 미미하다.

한국에 출원된 세부기술 중 가장 출원건수가 많은 기술 분야는 C(옹벽) 기술 분야이고, 미국에 출원된 세부기술 중 가장 출원건수가 많은 기술 분야는 D(기초) 기술 분야로 나타났다.

(3) 구간별 세부기술 동향 분석



<그림 3.5> 구간별 세부기술 동향

출원년도를 1구간(1970년~1979년), 2구간(1980년~1989년), 3구간(1990년~1999년), 4구간(2000년~2011년)으로 나누어 본 구간별 세부기술 동향을 살펴보면, A(터널) 기술 분야의 경우, 1구간, 2구간, 3구간, 4구간으로 이어질수록 출원건수가 점점 증가하는 추세를 보이고 있으며, 특히, 3구간에서 4구간으로 접어들면서 급격한 증가를 보이고 있다.

또한, A(터널) 기술 분야는 1구간에서 2구간으로 가면서 점유율이 하락하였으나, 이후 3구간과 4구간으로 가면서 점유율의 증가세를 보인다.

B(사면) 기술 분야의 경우, 1구간, 2구간, 3구간, 4구간으로 이어질수록 출원건수가 점점 증가하는 추세를 보이고 있으며, 타 기술 분야들에 비하여 증가폭이 가장 크게 나타났다.

또한, B(사면) 기술 분야는 1구간에서 3구간까지 점유율이 증가 하였으나, 3구간에서 4구간으로 이어지면서 점유율의 정체가 나타났다.

C(옹벽) 기술 분야의 경우, 1구간에는 출원건수가 전무하였고, 2구간에서 미미한 출원건수가 나타났으나, 3구간과 4구간으로 이어지면서 출원건수의 급증이 나타나는 추세이다.

이에 따라, C(옹벽) 기술 분야는 출원건수의 증가와 맞물려 점유율도 꾸준히 증가한다.

D(기초) 기술 분야의 경우, 1구간에서 2구간까지 출원건수의 증가가 나타나 타 기술 분야들에 비해 초기 출원 활동이 우세하게 보였으나, 이후 3구간에서 4구간으로 이어질수록 감소하는 추세를 보인다.

이에 따라, D(기초) 기술 분야는 점유율도 1구간, 2구간은 가장 높은 점유율을 나타냈지만, 3구간, 4구간에 접어들면서 가장 낮은 점유율을 기록했다.

이를 종합해보면, A(터널) 기술 분야와 B(사면) 기술 분야는 분석 초기 구간에서부터 최근 구간까지 꾸준히 출원 활동이 이루어지고 있는 것으로 보이고, D(기초) 기술 분야는 분석 초기 구간에서부터 최근 구간으로 이어질수록 관심도가 떨어지고 있는 것으로 나타나며, C(옹벽) 기술 분야는 점유율이 A(터널) 기술 분야와 B(사면) 기술 분야에 비해 낮지만, 최근 출원건수의 증가가 이어지는 걸로 보아 연구개발의 필요성이 있다고 판단된다.

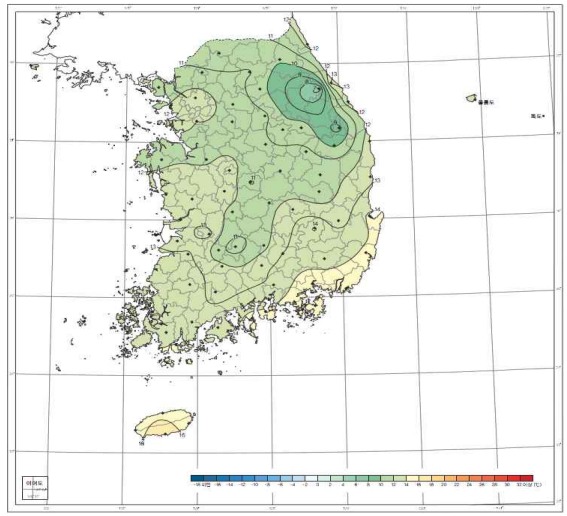
제 2 절 기후현황 분석

우리나라의 경우 구조물의 동결피해는 크게 연구되고 있지 않은 실정이다. 피해정도나 피해지역이 일부지역에 국한되어서 일 수 있다. 그러나, 동결피해 가능지역에서의 구조물은 장기 내구성의 저하나, 구조물의 기능저하가 될 수 있고, 강원지역의 경우는 이러한 문제가 지속적으로 발생하고 있는 것으로 보고되고 있다.

그러므로, 저온지역에서의 구조물의 피해사례 및 피해현황 등을 분석하기 위해서는 강원지역의 기온특성을 파악하여 구조물의 보수보강 이력등과 비교할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 저온지역의 구조물 보수보강 사항을 비교하기 위하여 강원지역 및 기온이 비교적 높은 남부지방의 기후특성을 조사분석 하였다.

1. 우리나라 지역별 기후특성

우리나라는 지리적으로 중위도 온대성 기후대에 위치하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절이 뚜렷하게 나타난다. 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보이고, 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한날이 많다.



<그림 3.6> 우리나라 연평균기온 분포

<그림 3.6>는 우리나라 연평균기온을 나타낸 것이다. 추운지역 강원도에 경우 남북으

로 길게 뻗은 태백산맥을 중심으로 영동과 영서로 분리되어 있어 기후적으로 다른 특성을 나타내고 있다. 연평균기온은 영동 11.0℃, 영서 10.8℃로 6.6~13.1℃의 분포를 보이고 있다. 강원도의 최저기온은 극값은 철원 -29.2℃, 최고기온 극값은 강릉 39.4℃를 기록하였다.

따뜻한 지역 호남과 영남지역이 있다. 호남지역의 경우 한반도 남서쪽에 위치하여 국토의 총면적 약 22만㎢ 중 10%에 못 미치는 약 2만㎢의 면적을 차지하고 있으며, 북위 33°54′과 36°9′사이를 차지하여 남북간 위도 차이가 2°15′에 불과하다. 동쪽은 소백산맥으로 영남지방과 경계를 이루고 북으로는 충청지방과 금강을 경계로 하고 있다. 한편 전남·북지방 은 노령산맥이 가로질러 그 경계를 이루고 있다.

영남지방은 한반도의 남동쪽에 위치하고 있으며, 태백산맥에서 분기되는 소백산맥을 경계로 북쪽으로는 강원과 충북, 서쪽으로는 전북, 전남과 도계를 이루며 남쪽과 동쪽은 각기 남해와 동해에 접해 있다. 경남지방은 동쪽으로 다소 완만한 태백산맥의 여맥이 자리하고 있으며, 중앙부에는 낙동강이, 서쪽으로는 비교적 험준한 소백산맥이 위치하면서 호남지방과 경계를 이루고 있다.

경남지방의 연평균기온은 남해안 지방이 14~15℃, 그 밖의 지방은 11~14℃의 분포를 보인다.

2. 우리나라 강원지역의 기후 특징

영동·영서지방을 경계로 하는 태백산맥은 바람이나 기온, 강수분포 등에 영향을 미쳐 기후의 동서차가 뚜렷이 나타난다. 강원지방은 경인지방보다 고도가 높아 산악지방에서는 때에 따라 좁은 지역에서 폭설·호우 등이 집중적으로 발생할 때도 있다. 영서내륙지방은 대륙성기후로 계절에 따라 온도차이가 많아 혹한과 혹서의 날씨를 기록하는 날이 많은 반면 영동해안지방은 온화한 해양성기후로 연중 온도의 변화가 크지 않고 비교적 따뜻하다. 고원 산악지대는 연중 온도가 비교적 낮아 여름에는 서늘하고 겨울에는 계속되는 혹한과 많은 강설량으로 스키 등 겨울스포츠에 적당하여 각종 경기가 많이 개최되고 있다.

영서지방의 연평균기온은 11.9~12.6℃, 연강수량은 1,404~1,425.3㎜이고, 영동지방의 연평균기온은 13.2~14.1℃, 연강수량은 1,587.3~1,604.3㎜이다. 강수는 7·8월에 집중되고 있는데 2004년 현재 7월 417.6㎜, 8월 308.2㎜로 집중 호우가 내린다. 연평균 강수량은 춘천 1,404㎜, 원주 1,425.3㎜, 강릉 1,604.3㎜, 속초 1,587.3㎜이다. 영동지방의 경우 2002년 태풍루사, 2003년 태풍 매미 등으로 집중호우가 내렸으며, 지구 온도 변화에 따라 연평균

강수량은 상승하고 있다. 강원도의 기온변화는 위도보다는 지형에 따른 동·서분포의 양상을 잘 나타내고 있다.

연평균기온의 지역별 변화는 서쪽에서 태백산맥의 산간지대로 가면서 기온이 낮아지고, 산맥을 넘어 동해안에 이르면서 기온이 점점 높아진다. 기온의 연변화를 보면 춘천·대관령·강릉이 각기 다르게 변화하고 있다. 즉, 대관령은 다른 두 지점보다 연중 기온이 낮고, 강릉은 여름철을 제외하고는 춘천보다 기온이 높게 나타나고 있다.

기온의 연변화 특색은 1월과 8월의 평균기온 차이가 큰 대륙성 기후로 곳에 따라 19.2~32.5℃의 교차가 나타난다. 8월의 평균기온은 춘천 24.7℃, 홍천 25.3℃, 원주 24.4℃, 인제 23.3℃, 속초 23.1℃, 강릉 23.6℃로 열대와 비슷한 기온을 나타내는데, 대관령의 기온은 19.2℃로 가장 낮게 나타난다.

1월의 평균기온은 춘천 -4.1℃, 원주 -3.2℃, 속초 0.5℃, 강릉 0.9℃로 영서 지방은 영하의 기온을 나타내지만 영동지방의 해양성 기후로 영상권에 머문다. 특히 지구 온난화의 영향으로 도내 1월 평균 기온은 상승하고 있다.

영동지방의 1월 평균기온이 높은 이유는 북서계절풍이 태백산맥을 넘을 때 발생하는 푄현상으로 기온이 상승하고 해양의 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다. 태백산맥의 서사면은 서풍 내지 남서풍, 동사면은 북동풍의 바람받이에 해당해 여름에는 영서지방에, 겨울에는 영동지방에 주로 지형성 강수가 나타난다.

강원도 지역의 기온은 우리나라 북부에서 가장 추운지역중의 하나인 철원지역과, 해양성기후로 인하여 강원도 내에서 비교적 온난한 강릉지역의 기후특징을 조사하였다.

3. 보수보강 빈도 비교를 위한 지역구분

강원지역과 우리나라 남부지방의 평균기온은 약 3℃정도의 차이를 보인다. 그러나 철원 등과 같은 강원 산간지역의 경우는 동절기 기온이 상당히 오랫동안 영하로 지속되므로 구조물의 많은 피해가 발생하고 있다. 대부분 산간지역에 위치한 터널 및 사면구조물의 동결피해사례가 많은 것도 주로 기온이 낮은 산간지역에 시공된 때문인 것으로 판단된다.

시특법에 의한 지난 40여년간의 구조물 보수보강이력을 검토한 결과, 구조물의 손상상태는 주로 제시되어 있으나, 구조물의 손상원인이 동결에 기인한 것인지는 분명하게 기록되어 있지 않아 자료의 분석이 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 기온차이가 있는 지역에서의 대상 구조물의 보수보강 빈도 및 이력을 분석하여 구조물의 손상 빈도 여부 등을 파악하고, 이로부터 동결피해를 저감시

키기 위한 별도의 대책마련의 필요성에 대한 당위성을 확보하고자 하였다.

<그림 3.26>은 구조물의 보수보강에 대한 빈도분석을 수행하기 위하여 우리나라를 추운지역과 따뜻한 지역으로 구분하여 분류한 것이다. (A)추운지역은 강원도, 경기도, 서울, 인천으로 구분하였고 (B)따뜻한 지역은 전라북도, 전라남도, 경상남도, 부산, 광주, 대구, 울산으로 분류하였다.

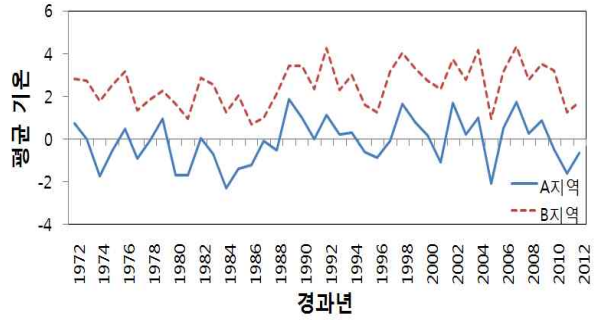
강원도 산간지와 같은 기온이 매우 낮은 지역과의 비교는, 기온차이에 의한 분석을 위한 통계자료로 활용하기에는 대상구조물의 개수가 적어 우리나라 북부지역으로 범위를 확대하여 분석하였다.



<그림 3.7> 추운지역(A지역)과 따뜻한 지역(B지역) 구분

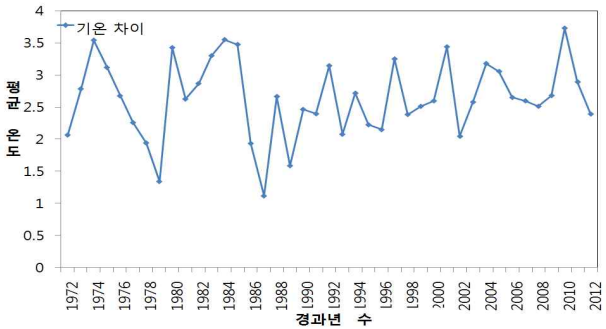
4. 추운지역(A지역)과 따뜻한 지역(B지역)의 연도별 기온분포

<그림 3.8>는 A지역과 B지역의 12월~3월까지의 평균기온을 41년간 나타낸 것으로써 A지역의 최저 기온은 2005년의 -2.08℃이며 최고 기온은 2007년에 1.75℃로 나타났다. 반면 B지역의 최저기온은 2005년도 0.98℃이고 최고 기온은 2007년에 4.34℃로 나타났는데 이 둘의 최저기온의 차이는 -3.06℃가나고 최고기온은 2.59℃가 차이나는 것을 볼 수 있다. 또한 A지역은 41년 중 22년(54%)이 영하의 날씨를 보였고 B지역은 41년 모두 영상의 날씨를 보여 확연한 기온차이를 보인다. 그래프의 기온차이를 보면 년 도별 차이가 제일 심한 년도는 1994년으로 5.05℃이며 제일 적은 차이를 보이는 년도는 1997년으로 2.51℃인건 확인할 수 있다.



<그림 3.8> 추운지역(A지역)과 따뜻한 지역(B지역) 연도별 기온

아래의 그래표는 1972년부터 2012년까지 의 기온차이를 표로 나타낸 것이다.



<그림 3.9> A지역과 B지역의 연도별 기온 차이

제 3 절 강원지역 동결피해 현장조사

1. 동상의 정의

가. 동상발생 메카니즘

흙은 저온상태에 두면 동결하는데, 흙이 동결한다고 해도 실제로 동결하는 것은 흙중의 수분이지만, 그때 흙의 강도나 투수성 등의 성질은 크게 변화한다. 동결에 수반되어 흙에서 발생하는 변화는 체적의 증가와 체적증가로 야기되는 지반의 동상이다.

기온의 저하에 의해 지반이 동결하고, 지반중에 동결면이 형성된 상황에서는 미동토측으로부터 수분이 동결면을 향하여 이동하여 간다. 동결면에 모인 수분이 동결할 때, 토립자 골격으로부터 분리하여 그들을 밀어 올리는 형태로 얼음층을 성장시킨다. 이와 같이 얼음층을 형성(석출)하는 현상을 빙정분리라 하며, 거기서 형성된 얼음층이 아이스렌즈(Ice Lense)라고 불린다.

물은 동결하면 체적이 약 9% 증가한다. 체적증가는 흙속의 물에서도 당연히 발생하지만 지반중의 기존 수분이 동결하는 것에 의한 흙의 체적증가는 무시할 수 있을 정도이다. 동상은 동결면에 이동한 수분의 빙정분리와 아이스렌즈의 형성에 의해 초래된 것으로 정의된다.

나. 동상의 3요소

(1) 온도

동상 발생의 원동력은 열류이고 지반중의 온도구배와 흙의 열전도성에 지배된다. 동상은 동결면에 아이스렌즈가 성장할 때 발생하는 잠열과 열류가 균형을 맞춘 상태에서 발생한다. 기온이 저하하면 열적균형이 깨지고 동결면이 심부로 진행하여 재차 열적 균형이 맞춰지는 위치에서 아이스렌즈가 형성된다.

이런 반복에 의해 동결면이 점차 이동하여 아이스렌즈는 동토 내에서 호상으로 형성되어 간다. 한편, 기온이 너무 낮으면 동결면의 이동이 빨라, 수분의 공급이 충분하지 못할 경우도 있다. 이러한 경우에는, 아이스렌즈가 형성되지 않은 채 동결이 진행되기 때문에, 동상은 발생하지 않고 소위 콘크리트상 동결이 된다.

(2) 수분

동상의 발생에는 아이스렌즈를 형성하는 수분이 동결면에 공급되어야 한다. 지하수면

이 높고 필요한 수분 공급이 충분히 일어날 수 있는 조건에서의 동상은 「개식 동상」이라고 부르며, 일반적으로 동상량이 크다.

지하수면 등의 수분의 공급원이 가까이에 없을지라도 함유 수분의 이동에 의해 동상이 발생하는 경우도 있다. 이와 같이 미동토 내의 한정된 범위내에서의 수분 이동에 의해 발생하는 동토는 「폐식 동상」이라고 부르며, 이러한 경우의 동상량은 작다.

수분의 공급원이 되는 지하수면의 위치 즉 지하수위의 영향은 그 값이 1m이내이면 강하게 나타난다. 옥외 동상관측에 의하면 지하수위가 0.5m일 때의 최대 동상량은 16cm였고, 지하수위가 1.0m일 때의 최대 동상량은 6cm였다. 이와 같이 옥외 실 구조물에서의 동상 발생은 수분 조건에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

(3) 토질

동상이 발생하기 위해서는 흙이 빙정분리 즉 아이스렌즈를 형성하는 성질을 가질 것, 요컨대 동상성을 가지는 흙일 필요가 있다. 흙의 동상성은 입경만으로 결정되는 것은 아니지만 실제로는 입경과의 관계가 대단히 강하다.

일반적으로 조립토라고 부르는 모래나 자갈에서는 동상성을 가지지 않는다. 흙의 동상성은 입경 0.1mm이하의 실트, 점토의 영역에서 나타나며 동상성은 입경이 작을수록 강하게 나타난다. 하지만 입경이 너무 작아지면 투수성이 나빠지기 때문에 지반으로서의 동상성은 역으로 작아진다.

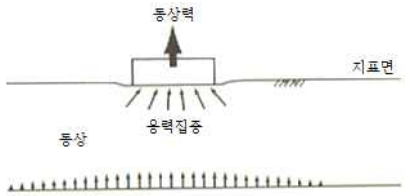
(4) 하중(압력)

온도, 수분, 토질의 조건이 동일할지라도 지표면에 건물 등의 하중이 작용하면 동상량은 감소한다. 이것은 하중이 동상 발생에 영향을 미치는 인자의 하나인 것을 의미한다.

상기 4개의 요소중 동상 발생의 직접적인 인자인 1) 온도, 2) 수분, 3) 토질의 3인자를 동상의 3요소라 부른다. 동상은 3요소가 전부 충족하였을 때 발생한다. 3요소 중 어느 하나라도 부족하면 동상은 발생하지 않는다. 이들 3요소는 독립해서 영향을 미친다. 자연지반에서는 3요소의 넓은 범위에 걸쳐 모두 동일한 경우는 있을 수 없기 때문에 동상은 불규칙하게 발생하는 경우가 대부분이다.

다. 동상력

<그림 3.10>에 나타낸 바와 같이 지표면에 놓인 원반이 구속된 상태에서 지반에 동상이 발생시, 먼저 지표면의 원반이 없는 경우에는 동상 발생에 의해 지표면은 들려 올라간다. 이때 들려 올라가는 양을 「동상량」이라고 부른다.



<그림 3.10> 동상력 발생 메카니즘

지표면에 움직임이 구속된 원반이 있으면 그 원반의 하부에는 동상변위가 발생하지 않는 대신 원반에는 커다란 힘이 가해진다. 이것이 「동상력」이며 이때 원반에 변위를 허용하면 동상력도 변화한다. 이와 같이 동상력과 동상량의 관계는 철이나 콘크리트 등과 같은 재료에서의 응력과 변형율과의 관계와는 다른 것이다.

지반의 동상에 의해 원반에 가해진 힘의 합을 동상력이라고 하지만 원반을 하나의 구조물로 볼 때 원반 아랫면에 가해지는 단위면적당의 동상력을 「동토압」이라고 한다. 이 용어는 옹벽 등의 흙막이 구조물에 가해지는 「동결토압」과 같은 의미로 생각해도 좋다.

동상은 동결면에서 일어나는 현상이기 때문에 <그림 3.10>에 있어서 원반에 가하는 동상력 혹은 동상압은 동결면에서 발생한 힘이 동토층을 사이에 두고 원반에 전달된 것이다. 동결면의 단위면적당 발생하는 힘 즉 아이스렌즈를 성장시키는 힘은 「동결팽창압」이라고 부른다. 따라서 동토압과 동결팽창압은 영향을 미치는 인자도 다르고 값도 다르다.

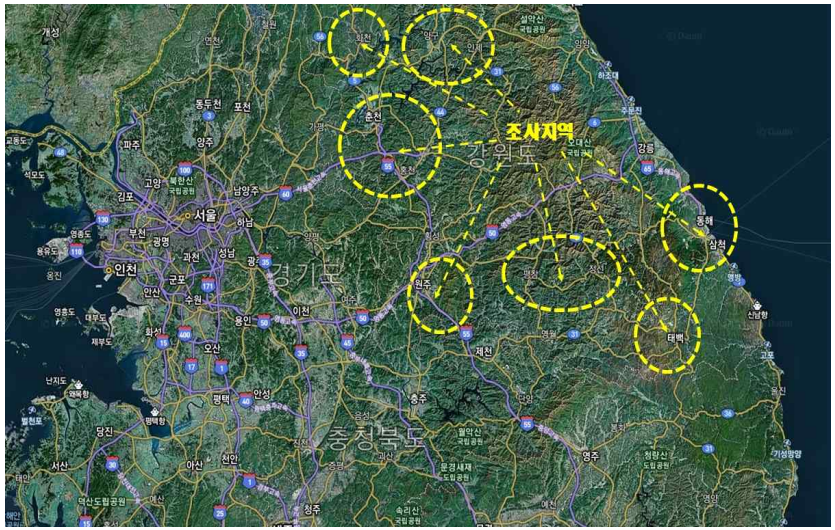
2. 조사지역

동결로 인한 구조물의 피해는 터널과 같은 주요구조물의 경우 일부 조사된 바는 있으나, 국내의 경우 아직까지 연구가 매우 미흡한 수준이다. 또한 구조물의 정기점검시기가 주로 해빙기와 우기시에 시행되고 있어, 구조물의 손상이 동결로 인한 것인지를 확인하기가 어렵다.

본 연구에서는 동절기시 강원지역 지반구조물의 피해정도를 조사하기 위하여 겨울철 강수가 발생한 이후 기온이 영하로 내려가는 시기를 대상으로 강원도내 지반구조물의 동결로 인한 피해현황을 조사하였다.

지반구조물은 터널, 사면, 옹벽, 기초를 대상으로 하였다. 구조물은 [시설물안전관리에 관한특별법]에서 규정하고 있는 1, 2종 시설물을 주 대상으로 하였으나, 기초의 경우는 시특법에 의한 대상 구조물이 아니며, 지중에 관입되어 있는 관계로 현장조사시 육안관찰에 의한 손상이 발생한 얕은 기초 구조물 등을 대상으로 조사하였다.

조사지역은 다음 <그림 3.11>과 같이 원주, 평창, 정선, 태백, 삼척, 인제, 양구, 화천, 춘천, 홍천등 10개 지역을 대상으로 하였다.



<그림 3.11> 지반구조물 동결피해 조사지역

3. 조사 대상 및 방법

본 연구의 조사 대상지인 강원도지역에 있는 다음의 같은 4가지 구조물(터널, 사면, 옹벽, 기초)에 대해 조사를 실시하였으며, 조사는 육안관찰로 시행하였다.

또한 구조물의 동결피해에 대해 효과적으로 조사를 실시하기 위해 일평균 기온이 0° 이하일 때 조사를 실시하였으며, 조사 항목으로는 다음과 같다.

○ 터널

· 터널 내부 균열에서의 용수 누수 유무

· 터널 내부 배수시설 파악

· 누수된 용수의 동결 유무

○ 사면

· 사면에 설치된 배수시설 파악

· 침투수 용출로 인한 동결 유무

· 사면 보강 구조물 균열에서의 침투수 누수 유무

· 사면 보강공 틈새에서의 유출수 및 동결 유무

○ 옹벽

· 옹벽 구조물 균열에서의 침투수 누수 및 동결 유무

· 옹벽 구조물에 인접한 배수구 존재 유무

○ 기초

· 기초 하부 지반의 동결융해에 따른 침하 및 융기 유무

· 기초 하부 지반의 부등침하로 인한 구조물 손실 유무

위와 같이 항목을 기준으로 현장조사를 실시하였으며, 현장조사 결과는 다음 <표 3.7>~<표 3.11>와 같다

<표 3.7> 현장 조사 위치 및 조사 항목

조사대상 구조물	관찰지역	관찰내용
터널	강원도 평창군 창리 720-4	-동결로 인한 균열 및 변형 -도로 노면에서의 포장체의 동상 -콘크리트라이닝 균열부 누수 -동결로 인한 배수 불량 -터널내 천단·측벽 빙괴 형성 유무
	강원도 인제군 가아리 965-1	
	강원도 양구군 남면 원리 40-2	
	강원도 양구군 금악리 1-2	
	강원도 화천군 거래리 250-26	
	강원도 홍천군 화촌면 풍천리 26	
	강원도 원주시 신림면 송계리 19-8	
옹벽	강원도 평창군 진부면 2073-4	-동결로 인한 배수 불량 -콘크리트 균열부 누수 -유출수의 동결 -동결융해로 인한 옹벽의 변형 -인접 배수구 존재 유무 -부등침하로 인한 균열 및 변형
	강원도 태백시 화전동 227-2	
	강원도 태백시 화전동 111-38	
	강원도 횡성군 오원리 525-1	
	강원도 횡성군 오원리 313-0	
	강원도 정선군 나전리 8-1	
	강원도 정선군 나전리 100-8	
	강원도 홍천군 자운리 50-25	
	강원도 홍천군 능평리 304-14	
	강원도 홍천군 구성포리 1362-0	
사면	강원도 평창군 하진부리 335	-동결,동상에 의한 사면보호공의 변형 -동결로 인한 배수 불량 -침투수에 의한 균열 -동결,동상에 의한 사면표층의 약체화
	강원도 평창군 대화면 대화리 1064-9	
	강원도 평창군 미탄면 백운리 1-18	
	강원도 평창군 미탄면 백운리 1-12	
	강원도 평창군 미탄면 백운리 650-24	
	강원도 정선군 덕우리 114-2	
	강원도 정선군 덕우리 665-0	
	강원도 정선군 광하리 53-1	
	강원도 삼척시 홍전리 60-5	
	강원도 삼척시 홍전리 92-37	
	강원도 인제군 가아리 43-1	
	강원도 인제군 가아리 426-0	
	강원도 춘천시 고탄리 18-1	
	강원도 홍천군 삼마치리 155-5	
	강원도 원주시 금대리 497-1	
기초	강원도 평창군 백운리 1-20	-동결융해로 인한 지반의 침하 및 융기 발생 -동결융해로 인한 기초부 지반 침하 -부등침하에 따른 도로 및 구조물 균열
	강원도 평창군 하진부리 164-2	
	강원도 정선군 광하리 961-0	
	강원도 정선군 북평면 숙암리 342-2	
	강원도 홍천군 자운리 28-4	
	강원도 홍천군 자운리 50-25	
	강원도 홍천군 생곡리 41-82	
	강원도 홍천군 능평리 304-10	
	강원도 홍천군 능평리 304-2	
	강원도 춘천시 학곡리 50	
	강원도 춘천시 학곡리 51-6	

<표 3.8> 터널구조물 조사결과

중분류	위 치	관찰내용
T-1	강원도 평창군 창리 720-4	- 터널 내부 측벽부에서 균열을 관찰되었음 - 균열 틈새로 지하수 누수 발생으로 인하여 동결현상 관찰 - 일부 구간에서는 내부 동결로 인해 타일 돌출확인 - 측벽에 설치된 전기시설에도 누수된 지하수가 동결되어 있는 것을 확인 - 추후 동절기에 기온저하에 따른 지속적인 동결융해로 균열 폭 증가와 전기시설 동파 피해, 도로위 결빙과 같은 위험요소로 작용할 가능성이 있는 것으로 판단됨
T-2	강원도 인제군 가아리 965-1	- 터널입구부에서의 지하수 유입으로 터널 내부 결빙현상이 발생 - 도로의 보수를 한 흔적으로 보아 과거에도 이러한 현상이 발생한 것으로 판단됨 - 유입된 지하수의 결빙으로 인하여 도로 유실 및 동결확대로 인한 차량사고의 위험이 있다고 판단됨
T-3	강원도 양구군 남면 원리 40-2	- 터널내 균열부에서 지하수 유입이 많은 것으로 판단됨 - 또한 터널 내부 낮은 온도로 인하여 천단부에서 바닥부까지 결빙의 흔적 - 균열 틈새 결빙으로 전기시설에 대한 피해가 생길 것으로 판단됨 - 지하수의 유입으로 인해 도로내 결빙현상을 관찰 - 터널 천단부 균열에서 지하수 유입으로 인한 결빙현상을 관찰 - 터널내 지속적인 동결융해 현상 발생시 터널 안전에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다.
T-4	강원도 양구군 금악리 1-2	- 터널내 균열부에서 지하수 유입으로 결빙현상을 관찰 - 지하수 유입 방지하기 위한 보수공사를 한 흔적 - 터널내 유입수는 배수구를 통하여 배수되는 것을 확인 - 터널내 균열이 심각한 것으로 판단 - 지속적인 동결로 인하여 터널 안정성에 문제가 발생할 것으로 판단됨
T-5	강원도 화천군 거래리 250-26	- 배전반 주위로 누수의 흔적을 발견 - 전기시설에 대한 각별한 주의가 필요한 것으로 판단 - 지속적인 동결융해 발생시 피해가 발생될 것으로 판단됨
T-6	강원도 홍천군 화촌면 풍천리 26	- 터널 전반적으로 바닥부 균열 틈새에서 소량의 지하수가 유입 - 바닥부에서의 지하수 유입으로 동결시 도로에 피해를 줄 것으로 판단됨
T-7	강원도 원주시 신림면 송계리 19-8	- 터널 바닥부 균열 틈새에서 지하수가 유입 - 지하수 유입으로 인하여 동결시 도로에 피해를 줄 것으로 판단됨



T-1 : 강원도 평창군 창리 720-4



T-2 : 강원도 인제군 가아리 965-1



T-3 : 강원도 양구군 남면 원리 40-2



T-4 : 강원도 양구군 금악리 1-2



T-5 : 강원도 화천군 거래리 250-26



T-6 : 강원도 홍천군 화촌면 풍천리 26



T-7 : 강원도 원주시 신림면 송계리 19-8

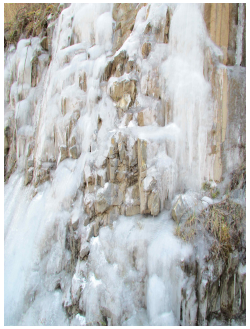
<표 3.9> 사면구조물 조사결과

구 분	위 치	관찰내용
S-1	강원도 평창군 하진부리 335	- 사면 상부는 숏크리트 보강을 실시 - 일부구간에는 계단식옹벽이 설치되어 있음 - 계단식옹벽 구간 우측부에 절토면에는 표면보호공이 시공되어 있었으나, 기온의 상승과 저하가 반복됨에 따라 풍화가 상당히 진행되어 있는 상태 - 전반적으로 지반이 동결되어 부풀어져 있는 상태 - 손으로 쉽게 부셔지는 것으로 보아 지반의 강도 또한 매우 연약한 상태로 확인되었다
S-2	강원도 평창군 대화면 대화리 1064-9	- 암반으로 형성된 사면으로 사면에 침투한 용수를 배출하기 위한 수평 배수공이 시공 - 기온저하로 인해 절리틈새와 배수공에서 흘러나오는 용수의 동결로 인해 대상 사면의 배수에 문제가 발생
S-3	강원도 평창군 미탄면 백운리 1-18	- 암반으로 형성된 사면으로 사면 보강공 및 배수공이 시공 - 기온저하로 인해 사면 상부에서 흘러나오는 지하수 배수를 위해 시공된 배수공이 동결되어 막힌 것을 확인 - 사면 보강이 시공된 틈새에서 누수되는 지하수의 동결을 확인 - 지속적인 동결융해 발생시 배수 문제 발생과 보강효과 저하로 이어질 수 있는 것으로 판단됨
S-4	강원도 평창군 미탄면 백운리 1-12	- 사면 보강공 및 배수공이 시공 - 기온저하로 인해 사면 상부에서 흘러나오는 지하수 배수를 위해 시공된 배수공이 동결되어 막힌 것을 확인 - 상부에서 흘러내린 용수가 보강부 틈새로 침투하여 동결된 것을 확인 - 지속적인 동결융해 발생시 배수 문제 발생과 보강효과 저하로 이어질 수 있는 것으로 판단됨
S-5	강원도 평창군 미탄면 백운리 650-24	- 숏크리트로 보강한 사면으로 곳곳에 사면보강공 및 배수공이 설치되어 있음 - 대상사면의 경우 기온저하로 인해 배수공이 동결되어 막힌 것을 확인 - 사면보강공 틈새와 숏크리트 균열부에서 누수된 지하수의 동결을 확인 - 지속적인 동결융해 반복시 배수 문제 사면보강공의 보강효과 저하 그리고 숏크리트 균열부의 확대등의 문제점이 발생할 수 있을 것으로 판단됨
S-6	강원도 정선군 덕우리 114-2	- 전반적으로 숏크리트로 보강한 사면으로 곳곳에 배수공이 설치 - 대상사면의 경우 상부 숏크리트 보강면 틈새에서 흘러나온 지하수가 동결되어 하부 암반구간까지 동결된 상황 - 하부 암반부에 시공된 배수공은 지하수의 동결로 인해 다수의 배수공이 막힌 것을 확인 - 대상 사면의 경우 배수 문제뿐만 아니라 지속적인 동결융해로 인해 상부 숏크리트 보강면의 틈새 확장으로 보강재로서의 - 역할을 상실할 것으로 판단됨
S-7	강원도 정선군 덕우리 665	- 터널 갱구부 우측부의 경우 사면 침투수 배수를 위해 설치된 배수구가 기온저하로 인한 동결 피해를 입은 것을 확인 - 추후 동절기 강우시 원활한 배수를 방해하는 요소로 작용할

구 분	위 치	관찰내용
		것으로 판단됨
S-8	강원도 정선군 광하리 53-1	- 암반으로 형성된 사면으로 낙석방지망 시공 - 암반 틈새에서 흘러나온 침투수가 하부까지 동결된 것을 확인 - 지속적인 동결융해시 균열폭의 증가와 강도저하로 인해 낙석피해 발생할 가능성이 있을 것으로 판단됨 - 결빙으로 인하여 낙석방지망이 설계하중보다 초과되어 사면 하부의 낙석방지망이 변형된 것으로 확인됨 - 추후 낙석방지망 파괴가 예상되며 인접도로에까지 피해가 발생할 것으로 판단됨.
S-9	강원도 삼척시 홍전리 60-5	- 계단식옹벽과 앵커로 보강 - 보강공 틈새로 우수 침투와 기온저하로 인한 침투수의 동결 발생 확인 - 지속적인 동결융해시 보강공의 피해가 발생하여 보강효과 상실의 우려가 있는 것으로 판단됨
S-10	강원도 삼척시 홍전리 92-37	- 계단식옹벽과 앵커로 보강 - 보강공 틈새로 사면의 침투수가 누수되는 것을 확인 - 기온저하로 인한 지속적인 동결융해 시 보강공의 피해가 발생하여 보강효과 상실의 우려가 있는 것으로 판단됨
S-11	강원도 인제군 가아리 43-1	- 계단식옹벽과 앵커로 보강 - 옹벽 미세 균열 틈새로 지하수 누수가 확인 - 기온저하로 인한 유출수의 지속적인 동결융해 발생시 옹벽 누수가 발생되는 균열 폭 증가등의 피해가 우려됨
S-12	강원도 인제군 가아리 426	- 계단식옹벽 보강 - 옹벽 미세 균열 틈새로 지하수 누수가 확인 - 기온저하로 인한 유출수의 지속적인 동결융해 발생시 옹벽 누수가 발생되는 균열 폭 증가등의 피해가 우려된다.
S-13	강원도 춘천시 고탄리 18-1	- 침투수의 배출을 위한 배수공이 설치되어 있지 않고 낙석방지망만 설치 - 상부 자연사면에서부터 침투되어 유출되는 지하수를 효과적으로 처리하지 못함에 따라 사면 절리 곳곳에 유출수 동결로 인한 빙괴를 쉽게 관찰 - 기온저하로 인한 유출수의 지속적인 동결융해로 암반의 풍화를 촉진시킴에 따라 소규모 낙석 등의 피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 판단됨
S-14	강원도 홍천군 삼마치리 155-5	- 침투수의 배출을 위한 측구 배수로가 설치 - 현장조사 시 사면 절리에서 유출되는 침투수의 동결로 인한 빙괴를 관찰 - 사면 하부인 도로 인접부에 별다른 배수로가 존재하지 않음에 따라 동절기 강우 시 유출되는 침투수를 충분히 처리하지 못할 것으로 판단됨 - 유출되는 침투수가 인접도로 부근에서 동결시사고 발생을 일으키는 요인으로 작용할 가능성이 있는 것으로 판단됨
S-15	강원도 원주시 금대리 497-1	- 사면에서 침투된 유출수가 배수구에서 동결되어 있는 것을 확인 - 옹벽 측부 에서는 미세균열을 따라 침투수가 누수되는 것을 관찰 - 동절기 유출수의 동결로 인한 배수문제와 유출수가 미세균열에서 지속적인 동결융해로 인한 균열 폭이 증가하는 등의 피해가 예상됨



강원도 평창군 하진부리
335



강원도 평창군 대화면
대화리 1064-9



강원도 평창군 미탄면
백운리 1-18



강원도 평창군 미탄면
백운리 1-12



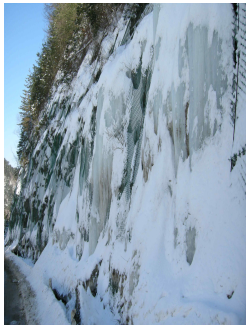
강원도 평창군 미탄면
백운리 650-24



강원도 정선군 덕우리
114-2



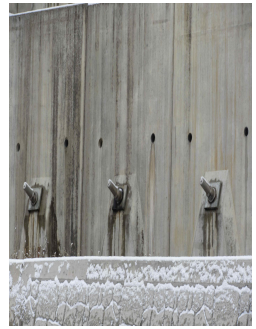
강원도 정선군 덕우리
665



강원도 정선군 광하리
53-1



강원도 삼척시 홍전리
60-5



강원도 삼척시 홍전리
92-37



강원도 인제군 가아리
43-1

강원도 인제군 가아리
426

강원도 춘천시 고탄리
18-1

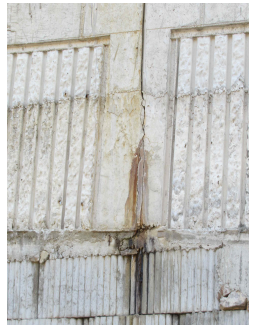
강원도 홍천군 삼마치리
155-5

강원도 원주시 금대리
497-1

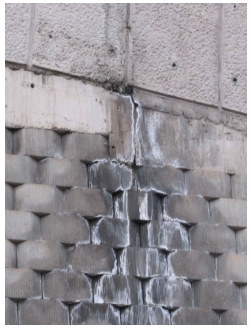
<표 3.10> 옹벽구조물 조사결과

구 분	위 치	관찰내용
R-1	강원도 평창군 진부면 2073-4	- 상부에 균열 관찰 - 균열을 따라 우수 등의 침투수가 누수 되는 것을 확인 - 추후 침투수의 지속적인 동결융해가 구조물의 균열폭 증가 시키는 등의 요인으로 작용할 가능성이 있는 것으로 판단됨
R-2	강원도 태백시 화전동 227-2	- 상부에 균열이 발견 - 균열을 따라 우수등의 침투수가 누수되는 것을 확인 - 침투수의 경우 기온저하로 인해 동결된 흔적을 확인 - 대상 구조물 하부에는 배수로가 설치되어 있지 않은 것으로 확인 - 대상 구조물의 경우 추후 침투수의 동결로 인한 균열폭 증가와 구조물 하부에 배수로가 존재하지 않음에 따라 동절기 강우 시 다량의 침투수가 누수되어 동결할 시에 인접한 도

구 분	위 치	관찰내용
		로에 영향을 미침에 따라 피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 판단됨
R-3	강원도 태백시 화전동 111-38	- 배수구마다 상당한 양의 침투수가 흘러나오고 있었으며 일부 배수구의 경우 기온저하로 인해 동결이 진행되어 막혀있는 것을 확인 - 대상 구조물의 경우 추후 동절기에 배수문제로 인한 피해가 판단됨 - 인접한 도로까지 결빙으로 인한 피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 판단됨
R-4	강원도 횡성군 오원리 525-1	- 누수된 침투수의 경우 기온저하로 인해 동결된 흔적을 확인 - 배수구는 설치되어 있지 않았음 - 추후 지속적인 동결융행 반복 시 구조물의 균열 폭 증가 및 강도저하로 인한 피해가 우려됨
R-5	강원도 횡성군 오원리 313-0	- 구조물 하부의 틈새로 지하수의 유출로 인한 결빙을 확인 - 지속적인 동결융해 반복시 균열부의 확대 우려 - 구조물 하부에 배수로는 존재하지 않는 것으로 확인 - 동절기 강우시 침투수의 유출로 인접한 도로의 결빙으로 인한 피해가 발생할 것으로 판단됨
R-6	강원도 정선군 나전리 8-1	- 동결융해로 인한 부등침하로 구조물이 5~10° 정도 기울어져 있는 것을 확인 - 구조물 상당부분에서 균열이 진행되어 있는 것을 확인 - 동결융해 반복 시 추가적인 부등침하로 인해 구조물의 전도로 인한 붕괴위험이 있는 것으로 판단됨.
R-7	강원도 정선군 나전리 100-8	- 동결융해로 인해 곳곳에 균열이 상당히 진행된 것을 확인 - 동절기 가우로 인한 다량의 우수 유입시 동결융해로 인해 균열부의 확대 및 강도저하로 인한 피해가 예상됨 - 인접한 도로에 여러가지 영향을 미칠 것으로 판단됨
R-8	강원도 홍천군 자운리 50-25	- 하부지반은 동결융해로 인한 강도저하로 토사의 상당부분이 유실되었음을 확인 - 추후 동결융해 반복 시 추가적인 토사 유실이 예상되며 구조물의 안정에 영향을 끼칠 것으로 판단됨
R-9	강원도 홍천군 능평리 304-14	- 구조물 곳곳에서 침투수가 흘러나와 기온저하로 인한 동결이 진행되어 있는 것을 확인 - 구조물에는 배수구가 존재하지 않음 - 추후 추가적인 침투수의 유출이 예상되며 동결융해로 인한 피해가 우려됨
R-10	강원도 홍천군 구성포리 1362-0	- 균열부에서 누수 된 침투수나 기온저하로 인한 침투수의 동결 확인 - 지속적인 동결융해 반복 시 균열부의 확대되는 등의 피해가 예상됨



강원도 평창군 진부면
2073-4



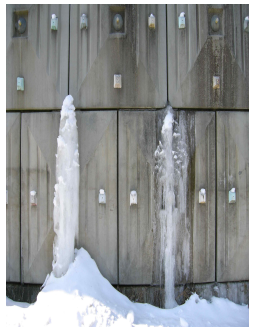
강원도 태백시 화전동
227-2



강원도 태백시 화전동
111-38



강원도 횡성군 오원리
525-1



강원도 횡성군 오원리
313-0



강원도 정선군 나전리
8-1



강원도 정선군
나전리 100-8



강원도 홍천군
자운리 50-25



강원도 홍천군
능평리 304-14



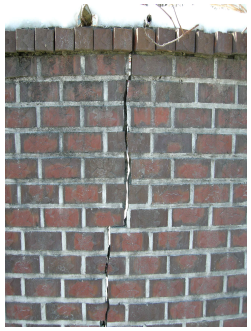
강원도 홍천군
구성포리 1362-0

<표 3.11> 기초구조물 조사결과

중분류	위 치	관찰내용
F-1	강원도 홍천군 생곡리 41-82	- 동결융해로 인해 펜스 하부 지반 침하 - 지반 침하에 따른 구조물 도괴 발생
F-2	강원도 춘천시 학곡리 50	- 동결융해에 따른 구조물 기초 부 지반 부등침하 발생 - 부등침하에 따른 구조물의 균열 발생 - 추후 지속적인 침하 발생에 따른 구조물 붕괴 가능성이 있는 것으로 판단됨
F-3	강원도 춘천시 학곡리 51-6	- 동결융해에 따른 구조물 기초 부 지반 부등침하 발생 - 부등침하에 따른 구조물의 균열 발생 - 추후 지속적인 침하 발생에 따른 구조물 붕괴 가능성이 있는 것으로 판단됨



강원도 홍천군 생곡리 41-82



강원도 춘천시 학곡리 50



강원도 춘천시 학곡리 51-6

제 4 절 강원지역 지반구조물 보수보강 현황

1. 구조물의 안전관리체제

국내의 경우, 동결피해지역 지반구조물에 대한 안전관리체제는 별도로 규정되어 있지 않으며, 시설물의 규모 및 중요도에 따라 시특법(시설물의 안전관리에 관한 특별법·시행령·시행규칙)에서 규정하고 있으며 시설물별 중대한 결함과 관련된 사항은 다음과 같이 정의하고 있다.

<표 3.12> 시설물별 구조안전상 주요부위의 중대한 결함(제13조 관련)

시설물명	주요부위의 중대한 결함
1. 교량	-주요 구조부위 철근량 부족 -주형의 균열 심화 -철근콘크리트 부재의 심한 재료 분리 -철강재 용접부의 불량용접 -교대·교각의 균열 발생
2. 터널	-벽체균열 심화 및 탈락 -복공부위 심한 누수 및 변형
3. 하천	-수문의 작동불량
4. 댐	-물이 흘러넘치는 부분의 콘크리트 파손 및 누수 -기초지반의 누수, 파이핑 및 세굴 -수문의 작동불량
5. 상수도	-관로이음부의 불량접합 -관로의 파손, 변형 및 부식
6. 건축물	-조립식 구조체의 연결부실로 인한 내력 상실 -주요구조부재의 과다한 변형 및 균열 심화 -지반침하 및 이로 인한 활동적인 균열 -누수·부식 등에 의한 구조물의 기능 상실
7. 항만	-갑문시설 중 문비작동시설 부식 노후화 -갑문 측·배수 아키덕트시설의 부식 노후화 -잔교·시설 파손 및 결함 -케이슨구조물의 파손 -안벽의 법선변위 및 침하

위의 국내 시설물의 안전관리에 관한 특별법(시설물의 안전관리에 관한 특별법·시행령·시행규칙)을 검토해본 결과 기본적인 유지관리 기준에 대해서 나와 있지만 아직 동결지역에 대한 유지관리 기준이 법적으로나 관리대상에 명시되어 있지 않다. 강원지역의 경우 지대가 높고 국내의 타지역에 비하여 연한 동결시간이 길어, 지반의 동결로 인한

구조물의 피해가 많이 발생되고 있는 실정이다.

2. 구조물 준공 후 시간경과에 따른 보수보강 현황

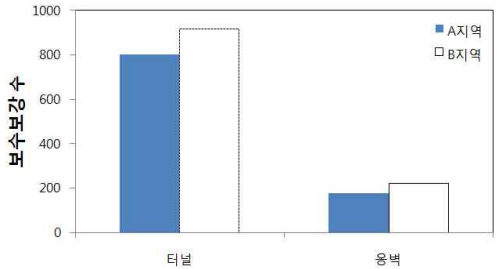
기온에 따른 지역별 지반구조물의 보수보강 현황은 [시설물의 안전관리에 관한 특별법]에 의해 한국시설안전공단에서 관리하고 있는 시설물정보 종합시스템(FMS, Facility Management System)의 자료를 활용하여 분석에 사용하였다.

본 연구에서는 관리대상구조물인 터널, 비탈면, 옹벽을 조사하였으나, 비탈면의 경우 보수보강 사례보다는 붕괴사례 위주로 관리되고 있어 평가할 수 있는 자료수가 매우 부족하였다. 따라서 본 연구에서는 터널 및 옹벽구조물을 대상으로 분석하였다.

가. 터널과 옹벽 보수보강 건수

시설물정보 종합시시템(FMS)에서는 터널 총 2,450건 옹벽 총 1,035건에 대한 시물정보를 관리하고 있다.

우리나라의 (A)추운지역인 강원도, 서울, 경기도, 인천의 터널, 옹벽 보수보강건수를 조사하였다. 추운지역인 터널 보수보강은 801건 조사되었고 옹벽은 178건 조사되었다. (B) 따뜻한 지역 전라북도, 전라남도, 경상북도, 부산, 광주, 울산, 대구 터널 옹벽 보수보강건수는 터널은 917건 옹벽은 223건으로 조사되었다<그림 3.36참조>.



<그림 3.12> A지역B지역 터널옹벽 보수보강건수

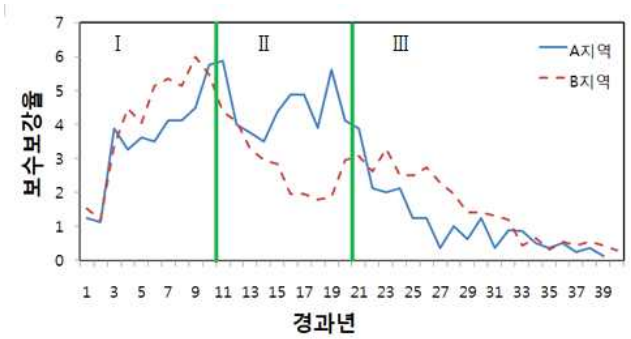
나. 터널준공 후 시간경과에 따른 보수보강율

(1) 터널 A지역(추운 지역)B지역(따뜻한 지역) 비교 분석

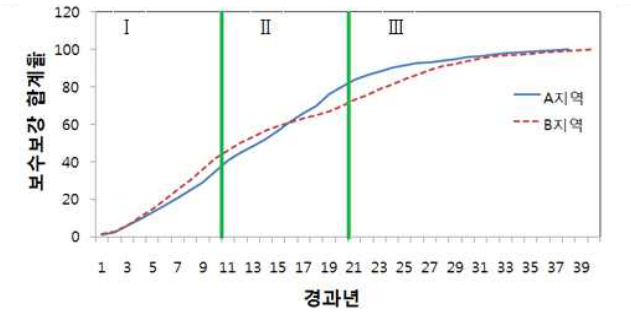
구조물의 보수보강은 준공시점에 따라 다를 수 있으므로, 터널구조물의 준공 이후 경과시간에 따른 보수보강율을 조사하였다. 그림에서 보수보강율은 해당지역의 연도별 터널의 보수보강 횟수를 대상지역의 전체터널수로 나누어서 표시하였다. 준공시점 이후 10년 단위로 구간을 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ의 3개구간으로 나눈 것이다.

터널의 경우 준공후 처음 10여년 동안(Ⅰ구간)은 기온이 낮은 A지역과 기온이 높은 B지역의 기온차이에 따른 큰 차이가 없이 보수보강율이 지속적으로 증가하였으나, 10여년이 지난 이후에는 두 지역이 다소 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다.

기온이 높은 B지역의 경우, 구조물 준공 후 10여 년이 지난 후부터 보수보강률이 급격하게 낮아지는 경향을 보이나, 기온이 낮은 A지역의 경우는 준공 후 20여년 정도까지 보수보강률이 지속적으로 유지되고(Ⅱ구간), 그 이후 보수보강률이 낮아지는 것으로 나타났다.



<그림 3.13> 시간경과에 따른 평균 보수보강율(터널)

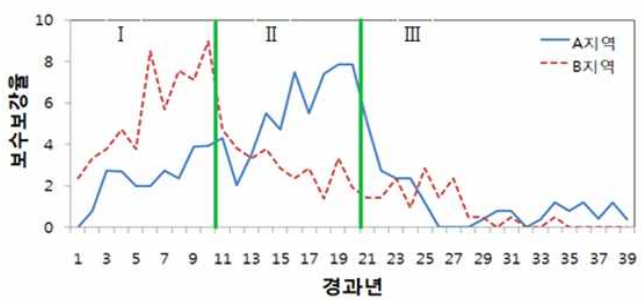


<그림 3.14> 시간경과에 따른 누적 평균 보수보강율(터널)

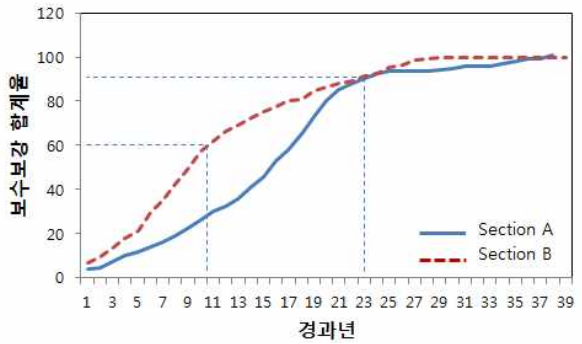
<그림 3.14>는 터널 준공후 경과시간에 따른 터널 보수보강율의 누적분포를 나타낸 것이다. 그래프의 기울기가 급한경우는 보수보강빈도가 높은 것을 나타내고, 기울기가 완만한 경우는 보수보강 빈도가 낮음을 나타낸다.

(2) 광역시를 제외 한 터널 비교 분석

위의 터널 보수보강빈도 그래프에서, 대상지역을 높은 인구밀도로 인하여 비교적 기온이 높은 인구밀집지역(서울, 인천, 대구, 부산, 울산, 광주)을 제외하고 A지역과 B지역의 시간경과에 따른 보수보강율을 나타내면 기온에 따른 시간경과별 구조물의 보수보강빈도의 차이는 더욱 뚜렷이 나타난다<그림 3.15참조>.



<그림 3.15> 시간경과에 따른 평균 보수보강율(터널)-광역시제외

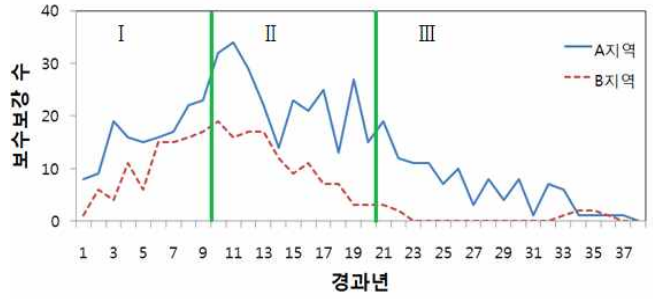


<그림 3.16> 간경과에 따른 누적 평균 보수보강율(터널)-광역시제외

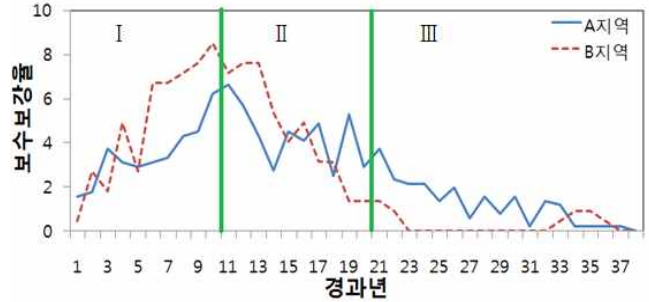
<그림 3.16> 인구밀집지역을 제외한 지역의 보수보강율을 A지역과 B지역으로 구분하여 누적비율을 나타낸 것이다. B 지역의 경우는 준공 후 10년 정도까지는 전체 보수보강수의 60% 정도가 수행되었으며, A지역은 약 30% 정도만이 보수보강이 수행되었다. 준공 후 20여년 경과 시까지는 A, B지역 모두 전체 보수보강의 약 90%를 수행하였으나, 추운지역인 A지역의 경우 B지역에 비하여 준공 후 20여 년이 경과할 때까지 보수보강 비율이 줄어들지 않고 지속적으로 시행된 것으로 분석되었다.

다. 옹벽준공 후 시간경과에 따른 보수보강율

옹벽구조물에 대하여 준공 후 시간경과에 따른 보수보강 현황은 <그림 3.17> 및 <그림 3.18>과 같다. 그림은 준공 후 시간경과에 따른 전체 보수보강 수를 나타낸 것이고, <그림 3.17>은 지역별 보수보강 수를 전체 옹벽 수로 나누어 시간별로 표시한 것이다.



<그림 3.17> 수보강수를 구간별로 나눈 모습



<그림 3.18> 평균 보수 보강 율 을 구간별로 나눈 모습

옹벽구조물의 경우에도 전체적인 경향은 터널구조물의 경우와 유사한 것으로 나타났다. 따뜻한 B지역의 경우는 준공 후 10여년 경과시까지 보수보강율이 증가하다가 그 이후 감소하였고, 보수보강기간도 약 20여년 정도인 반면, 추운지역인 A지역의 경우에는 상당히 오랜기간 동안 보수보강이 이루어져, 추운지역에서의 구조물에 대한 장기 내구성이 문제시 되고 있다고 판단할 수 있다.

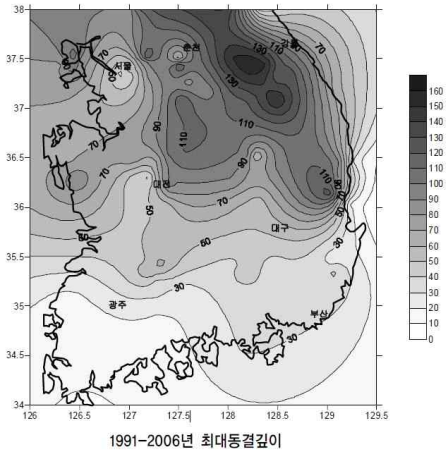
3. 동결심도별 지반구조물 보수보강 현황

가. 동결심도별 터널 보수보강율

구조물의 보수보강 현황을 좀 더 자세히 분석하기 위하여, 구조물이 위치한 지역의 동결심도와 구조물의 보수보강빈도를 비교하였다.

다음 그림은 한국건설기술연구원에서 1991년부터 2006년도까지 전국 89개 지역을 대상으로 동결깊이를 측정한 분포도이다(김영진, 2009). 강원도 및 경상북도 산간지역은 최대 동결깊이가 100cm 이상으로 분포하고 강원북부 및 경기도 북부지역의 경우도 대부분 80cm 이상인 것으로 조사되었다.

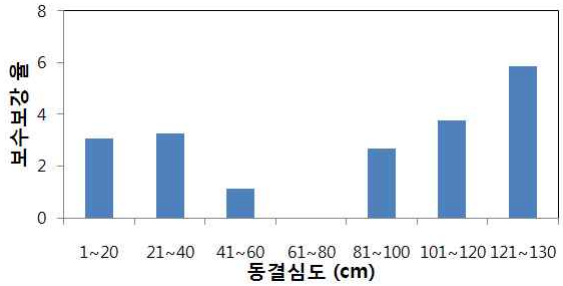
다음 <표3.13> 및 <그림 3.19>은 연구대상지역(A, B지역)의 터널에 대한 동결심도별 보수보강율을 나타낸 것이며, 동결심도 61~80cm 구간은 구조물이 존재하지 않아 보수보강율이 '0'으로 표시되었다.



<그림 3.19> 국내 최대 동결깊이 분포도(1991~2006)

<표 3.13>동결심도별 보수보강 율

동결심도(cm)	터널수	보수보강 수	터널당 보수보강율
1~20	38	116	3.05
21~40	23	75	3.26
41~60	8	9	1.13
61~80	8	0	0
81~100	9	24	2.67
101~120	14	53	3.79
121~130	7	41	5.86



<그림 3.20> 동결심도별 보수보강율(터널)

분석결과 동결심도가 120cm 정도까지는 보수보강율에 대한 특별한 경향을 보이지는 않으나, 120cm 이상부터는 보수보강율이 급격하게 커진 것으로 나타났다. 동결심도 120cm 이하의 터널 평균 보수보강율은 2.27(총 100개의 터널에 대하여 277회의 보수보강 수행)이며, 120cm 이상 지역의 평균 보수보강율은 5.86(총 7개의 터널에 대하여 41회의 보수보강 수행)으로 2배 이상으로서, 보수보강율이 급격하게 커진 것으로 나타났다. 우리나라 동결심도 분포도에서 동해안을 제외한 강원지역 및 경기북부지역의 동결심도는 대부분 80cm 이상이며 따라서, 이 지역의 보수보강율이 타 지역에 비하여 높으므로 구조물의 내구성 향상 및 안정성 확보를 위한 별도의 대책마련이 필요하다.

나. 준공시기별 터널 보수보강 율

준공된 시기에 따른 구조물의 보수보강 특성을 파악하기 위하여 터널 구조물을 대상으로 준공시기를 4월~10월과 동절기인 11월~3월로 구분하여 보수보강현황을 조사하였다 <표 3.13참조>은 조사대상으로 한 107개의 터널에 대하여 준공시기별로 터널 당 보수보강비율을 그래프로 표시한 것이다. 동절기인 11월~3월 사이에 준공한 터널의 보수보강 비율이 타 기간에 준공된 터널에 비하여 훨씬 많은 것으로 조사되었다.

<표 3.13>월 별 터널 보수보강 율

시설물명	위치	지역	시설물구분	동결심도 (cm)	준공일	연번
도고터널	양구군	강원도	터널	120	1988-12-31	1
양구터널	양구군	강원도	터널	120	1974-01-01	2
오천터널	양구군	강원도	터널	120	1988-12-15	3
덧개수터널	평창군	강원도	터널	105	2011-12-26	4
마평1터널	평창군	강원도	터널	105	2011-12-31	5

마평2터널	평창군	강원도	터널	105	2011-12-31	6
노나무재터널	정선군	강원도	터널	100	2001-12-25	7
신술터널	철원군	강원도	터널	100	2001-12-31	8
화천터널	화천군	강원도	터널	100	2002-12-31	9
배일치터널	영월군	강원도	터널	90	2002-01-10	10
구천동터널(상행)	무주군	전라북도	터널	68	2003-12-23	11
구천동터널(하행)	무주군	전라북도	터널	68	1996-12-31	12
치목터널(하행)	무주군	전라북도	터널	68	1996-12-31	13
용호터널(상)	정읍시	전라북도	터널	44	2005-12-23	14
용호터널(하)	정읍시	전라북도	터널	44	2005-12-23	15
장금터널	정읍시	전라북도	터널	44	1992-12-17	16
구사터널	삼척시	강원도	터널	43	2008-12-25	17
숭림사생태통로	익산시	전라북도	터널	40	2008-12-30	18
송천지하차도	전주시	전라북도	터널	35	1995-01-01	19
진북터널	전주시	전라북도	터널	35	1996-12-31	20
추월산터널	담양군	전라남도	터널	35	1977-01-01	21
서흥지하차도	김제시	전라북도	터널	30	2000-12-21	22
광양항정산터널(상)	광양시	전라남도	터널	30	1998-12-30	23
광양항정산터널(하)	광양시	전라남도	터널	30	1998-12-30	24
독재터널	화순군	전라남도	터널	30	1995-01-01	25
서진주 I.C 터널	진주시	경상남도	터널	25	1996-12-26	26
황전터널	순천시	전라남도	터널	22	2008-12-24	27
각산터널(상)	사천시	경상남도	터널	20	2010-12-27	28
각산터널(하)	사천시	경상남도	터널	20	2010-12-27	29
남부지하차도	양산시	경상남도	터널	20	2005-12-31	30
쌀재터널(상행)	창원시	경상남도	터널	20	2006-12-20	31
쌀재터널(하행)	창원시	경상남도	터널	20	2006-12-20	32
안민터널(1차)	창원시	경상남도	터널	20	2001-12-31	33
용원지하차도	창원시	경상남도	터널	20	1998-12-31	34
장복터널	창원시	경상남도	터널	20	1985-12-31	35
창원터널(2차터널)	창원시	경상남도	터널	20	1996-12-31	36
한구미터널 (기존기지방향)	여수시	전라남도	터널	13	2008-12-31	37
한구미터널 (추가기지방향)	여수시	전라남도	터널	13	2008-12-31	38
법기터널	양산시	경상남도	터널	20	2010-01-04	39
느랏재터널	춘천시	강원도	터널	100	1991-12-01	40
가락재터널	홍천군	강원도	터널	90	1992-12-01	41
솔치재터널	홍천군	강원도	터널	90	1992-12-01	42
솔치터널	원주시	강원도	터널	75	2001-12-10	43
장성터널	태백시	강원도	터널	70	1992-11-26	44
절골지하차도	태백시	강원도	터널	70	2003-11-30	45
문의재터널	삼척시	강원도	터널	43	2002-11-30	46
월명생태통로	군산시	전라북도	터널	43	2009-11-23	47
석남터널	밀양시	경상남도	터널	30	1985-12-01	48
장복제2터널	창원시	경상남도	터널	20	1998-11-20	49
창원터널(1차터널)	창원시	경상남도	터널	20	1993-11-24	50
농소터널	거제시	경상남도	터널	10	2010-11-30	51

덕포터널(상행)	거제시	경상남도	터널	10	2010-11-30	52
덕포터널(하행)	거제시	경상남도	터널	10	2010-11-30	53
송정터널(상행)	거제시	경상남도	터널	10	2010-12-09	54
장목터널	거제시	경상남도	터널	10	2010-11-30	55
영동2터널	평창군	강원도	터널	105	1975-10-30	56
유둔재터널	담양군	전라남도	터널	35	2008-11-11	57
서천도월지하차도	광양시	전라남도	터널	30	2010-11-02	58
봉강터널	순천시	전라남도	터널	22	2009-11-10	59
쇄재터널	정선군	강원도	터널	100	1995-10-01	60
신림터널	원주시	강원도	터널	75	1990-10-20	61
황매산터널	산청군	경상남도	터널	40	2009-09-25	62
양주지하차도	양산시	경상남도	터널	20	2003-09-30	63
하오터널	화천군	강원도	터널	110	2004-09-01	64
월드컵지하차도	전주시	전라북도	터널	35	2002-08-31	65
안민터널(2차)	창원시	경상남도	터널	20	2002-08-28	66
봉화터널	순천시	전라남도	터널	22	2008-08-13	67
삼동지하차도	창원시	경상남도	터널	20	1995-08-10	68
조침령터널	인제군	강원도	터널	130	2007-06-22	69
고일재터널	횡성군	강원도	터널	90	2011-07-14	70
엄재터널	정읍시	전라북도	터널	44	2011-06-23	71
오룡지하차도	무안군	전라남도	터널	25	2006-06-30	72
진도터널(상행)	진도군	전라남도	터널	20	2003-06-26	73
진도터널(하행)	진도군	전라남도	터널	20	2003-06-26	74
불암지하차도	김해시	경상남도	터널	15	2009-07-06	75
웅천생태터널	여수시	전라남도	터널	13	2010-06-28	76
돌산령터널	양구군	강원도	터널	120	2011-05-30	77
해산터널	화천군	강원도	터널	110	1990-06-05	78
부다리 터널	춘천시	강원도	터널	100	2010-06-14	79
동강터널	영월군	강원도	터널	90	2009-06-24	80
들입재터널	삼척시	강원도	터널	43	2012-06-01	81
명곡지하차도	창원시	경상남도	터널	20	2005-06-09	82
삼신봉터널	하동군	경상남도	터널	20	2004-05-31	83
미시령터널(하행선)	인제군	강원도	터널	130	2006-04-25	84
상용터널	양구군	강원도	터널	120	2010-04-30	85
미시령터널(상행선)	고성군	강원도	터널	100	2006-04-25	86
목우재터널	속초시	강원도	터널	90	2006-05-01	87
청령포터널	영월군	강원도	터널	90	2010-05-06	88
팔괴터널(상)	영월군	강원도	터널	90	2010-05-06	89
팔괴터널(하)	영월군	강원도	터널	90	2010-05-06	90
안덕원지하차도	전주시	전라북도	터널	35	2000-04-07	91
보배터널	창원시	경상남도	터널	20	2012-04-29	92
성주지하차도	창원시	경상남도	터널	20	1994-04-28	93
어곡터널	양산시	경상남도	터널	20	2004-04-30	94
동점터널	태백시	강원도	터널	70	1999-04-10	95
대학로지하차도	전주시	전라북도	터널	35	2001-03-26	96
옥암지하차도	목포시	전라남도	터널	30	2006-03-31	97
범어지하차도	양산시	경상남도	터널	20	2009-04-15	98

불모산터널 (창원방향)	창원시	경상남도	터널	20	2012-04-11	99
불모산터널 (부산방향)	창원시	경상남도	터널	20	2012-04-11	100
보래령터널	평창군	강원도	터널	105	2011-03-02	101
수문터널	장흥군	전라남도	터널	30	2008-03-12	102
장성역 지하차도	장성군	전라남도	터널	30	2006-02-22	103
굴현터널	창원시	경상남도	터널	20	2003-02-23	104
다방지하차도	양산시	경상남도	터널	20	2006-03-15	105
소계1지하차도	창원시	경상남도	터널	20	2003-02-23	106
토월지하차도	창원시	경상남도	터널	20	2004-02-29	107

제 5 절 터널분야 동결피해 저감 방안

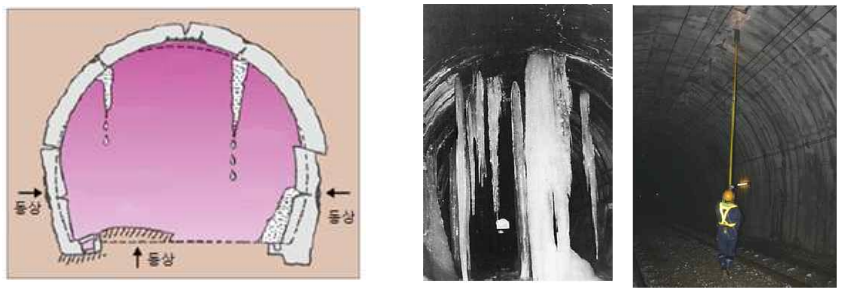
1. 개요

가. 터널 동결현상

한랭지에 건설된 터널은 동결로 인한 균열, 측압발생 및 압출, 고드름, 도로 노면에서의 포장제의 동상 등으로 인해 구조물 손상의 원인이 될 수 있다<그림 3.21 참조>.

특히 배수관 또는 배수구와 콘크리트라이닝 배면에 누수가 발생하게 되면 동결로 인해 체적 팽창으로 균열 등의 구조물의 손상이 발생한다. 이처럼 누수에 따른 동결피해를 동상이라고 표현하기도 한다. 또한 누수의 규모가 클 경우에는 터널내 고드름이 발생하여 차량의 운행에 장애가 발생하기도 한다<그림 3.21 참조>.

콘크리트라이닝 내에 수분이 영하로 내려갈 경우 동결로 인해 콘크리트의 pop out 현상이 발생할 수 있으며 이것은 콘크리트라이닝 열화의 주요 원인이 되고 반복적인 동결융해로 인해 콘크리트 라이닝에 균열이 발생하고 구조체로서의 성능을 저하시킨다.



a) 한랭지 터널에서의 변상 개념도 b) 터널 내 고드름 및 제거작업

<그림 3.21> 한랭지 터널에서의 변상 및 고드름 제거작업

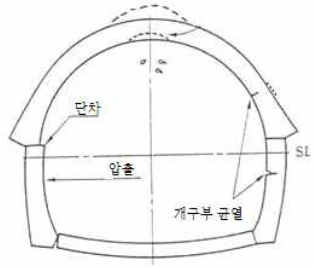
(1) 동상

터널에서의 동상은 누수와 깊은 관련이 있고 터널에는 일반적으로 측 방향 압력이 작용한다. 한랭지에 터널 건설시 콘크리트라이닝 배면의 지반동결로 인해 동상압이 작용할 수 있다. 동상이 발생하는 지반에는 아이스렌즈(Ice Lense)가 형성되어 체적 증가로 인해 국부적인 압력이 터널 천장부근에 발생하여 균열을 발생시킨다<그림 3.21 참조>.

동상이 발생하기 쉬운 조건은 다음과 같다.

- 한랭지에 동결깊이가 콘크리트라이닝 두께보다 깊은 지역
- 물의 공급
- 동상압이 발생하기 쉬운 지반

• 단열재가 없는 터널

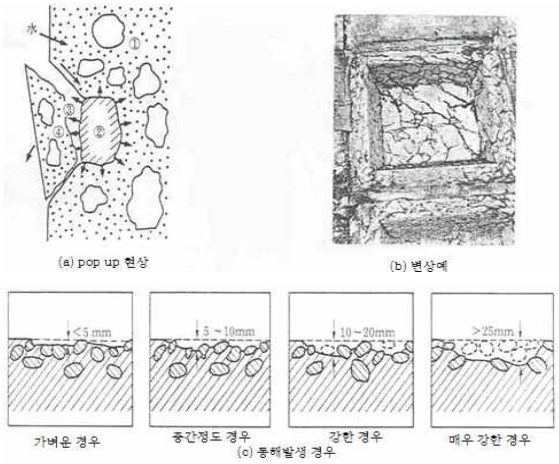


<그림 3.22> 동상에 의한 변상 개념도

동상은 동절기에 측압이 강하게 작용할 경우에는 압출로 인해 융기가 발생할 수 있다. 압출이 멈춘 이후에도 완전히 원형으로 돌아오지 못하고 잔류변형이 몇 년동안 지속되는 경우도 있다. 아치부의 하부에서 측벽까지의 영역이 주동영역이 되고 터널단면이 상향으로 돌출 되는 경우 천장부가 국부적인 수동영역이 된다. 따라서 그림과 같이 아치부근에는 국부적인 압력이 발생하게 된다.

(2) 동해

한랭지 터널에서 동해는 콘크리트라이닝의 열화의 주요 원인이 된다. 동해에 의한 손상은 <그림 3.23>와 같이 곰보, 균열 이외에 골재를 중심으로 한 콘크리트의 pop out 현상, 몰탈 및 콘크리트의 스케일링 등의 현상이 발생한다.



<그림 3.23> 동해 발생 메카니즘

일반적으로 구조물의 손상은 동절기를 포함한 한랭기후 전후기간에서 계절적인 변동에 따라 현저히 크게 발생할 있다.

동해는 콘크리트 내에 있는 수분의 동결 및 그로 인한 체적 팽창을 발생시킨다. 이것은 골재와 페이스트 사이, 조골재와 몰탈 사이의 분리 및 콘크리트 인장강도를 초과하는 팽창압이 발생할 경우 콘크리트의 균열을 발생시키며 동결융해의 반복작용에 의해 구조물의 변형을 유발시킨다.

동해발생은 환경온도, 누수 및 우수 등에 의한 수분의 공급과 시공시 공기량, 기포의 분포, 골재의 품질 등 콘크리트의 품질에 따라 영향을 미친다. 또한 콘크리트의 경화가 충분히 되지 않은 시기에 온도가 저하되는 경우에는 동해 발생 가능성이 높다. 또한 터널 갱구부나 고개 등 지형적인 조건으로 인해 외기온도의 영향을 크게 받는 구간에서 동해로 인한 구조물의 변상이 크게 발생할 수 있다.

(3) 누수 및 동결로 인한 문제점

누수 및 동결은 콘크리트라이닝의 열화를 촉진시키고 주변지반의 동상에 의한 변상 등으로 인한 터널기능의 저하를 유발하며 고드름, 측빙 등의 낙하로 인해 차량운행의 저해 또는 사고를 발생시킬 수 있다<표 3.14 참조>.

<표 3.14> 누수 및 동결로 인한 문제점

구 분	현 상	비 고
터널기능 저하	-유해수에 의한 콘크리트라이닝의 열화 -동결에 의한 콘크리트라이닝 재료의 열화 -터널 주변지반의 동상압에 의한 변상 -토사유입, 퇴적 등에 의한 배수 불량	
차량운행 저해	-고드름, 측빙 등의 낙하 -누수 흩날림 -차바퀴의 공회전 및 미끄러짐	
기타	-통로, 맨홀 동결 -박테리아 발생 -부대시설 부식	

나. 도로터널에서의 동결현상

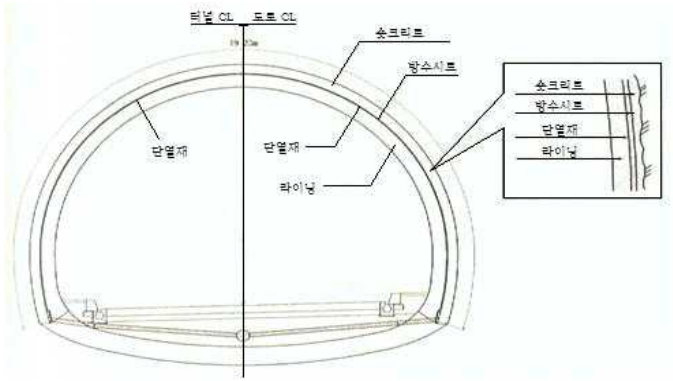
한랭지 산악터널의 콘크리트라이닝 배면에서 발생하는 동결 및 융해는 콘크리트라이닝 구조물에 치명적인 악영향을 줄 수 있으며 균열이나 누수 및 변형 등의 원인이 되고 있다<그림 3.24 참조>.



<그림 3.24> 동결현상에 의해 콘크리트라이닝에 발생한 균열

일본 북해도 산악 도로터널에서는 표고나 동결시간 등을 고려하여 단열공법을 채택하고 있다. 여기서의 단열공법은 과거에는 판상의 재료가 사용되었지만 현재는 시공성 때문에 숏크리트와 콘크리트라이닝 사이 또는 콘크리트라이닝의 내측에 분사식 단열재를 설치하는 경우가 대부분이다.

<그림 3.24> 는 “도로설계요령[제4집] 터널”(북해도 개발국, 2012)에 따라 산악터널에서 동상대책에 대한 단면으로 숏크리트와 콘크리트라이닝 사이에 분사식 단열재를 적용한 내용이다.



<그림 3.24> 단열재를 이용한 터널의 동상대책 예

다음 <그림 3.24> 분사식 단열 공법을 적용한 동상방지 대책 상황도이다.

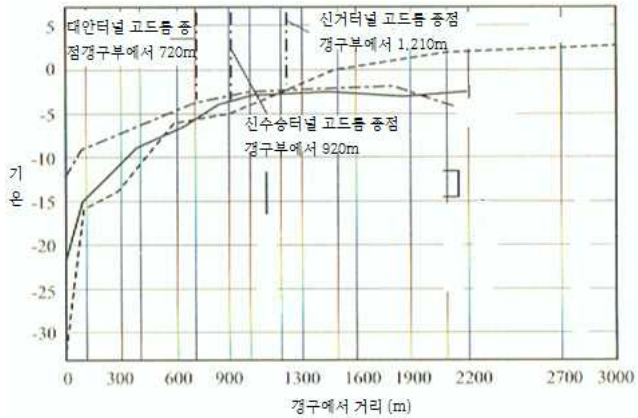




a) 숏크리트 단열재의 시공 상황 b) 숏크리트 단열재의 시공상황 전경

<그림 3.25> 터널 갱구부에서의 분사식 단열공법에 의한 동상대책

단열재를 설치하게 되는 길이는 <그림 3.25> 과 같이 북해도 터널에서의 조사결과와 북해도 토목기술회 터널연구위원회에 의한 현장계측결과로부터 외기온의 영향을 가장 받기 쉬운 갱구에서 100m 정도로 하고 있다.



<그림 3.25> 터널 갱내 기온분포와 고드름 발생 종점 위치(북해도)

동상대책은 동상 지반과 비동상 지반의 물성치나 동결지수 F=500~600℃・일 이상을 기준으로 단열공법의 여부를 판단하고 있지만 현재 단열재의 두께에 관해서는 설계요령에 의해 관측지점별 기온 데이터나 지반, 숏크리트, 단열재, 콘크리트라이닝의 열특성치 등으로부터 산출하도록 하고 있다.

이때 단열재의 두께는 cm단위로 하며 터널 배면이 비동상성 암반 또는 용수가 적다고

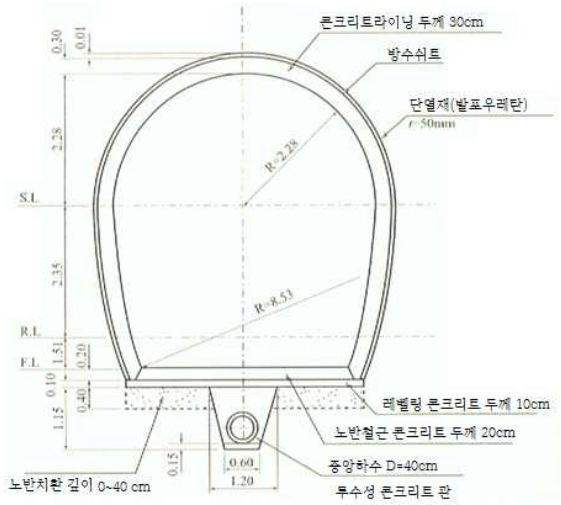
예상되더라도 원칙적으로 단열재를 설치하는 것으로 하도록 하고 있다. 더 나아가 콘크리트라이닝 타설 시의 압력으로 균열의 발생이 예상되기 때문에 최소 시공두께는 15mm 이상으로 되어 있으므로 2cm가 단열재의 최소두께가 된다.

터널내 노상을 포함하는 인버트부는 일반도로구간과 마찬가지로 노면의 동상대책이 필요하다. 이 부분의 동상대책에 관해서는 터널내의 온도분포상황, 사용하는 노상재료, 노상부에 침투하는 물의 공급, 즉 동상의 3요소에 관하여 충분히 검토하여 동상 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 비동상성 재료를 사용하는 등 동상대책공법을 적용할 필요가 있다.

다. 철도터널에서의 동결현상 및 대책

(1) 신설터널 동결방지 대책

다음 <그림 3.47>은 신설터널인 NATM구간 갱구부에 단열공법을 적용한 사례이다. NATM은 지반의 내하력을 유효하게 활용하기 위해 숏크리트나 록볼트를 주요 지보재로 하여 굴착하는 산악터널에서 일반적인 적용하는 공법이다. 숏크리트를 타설한 후 콘크리트라이닝 시공전에 방수막을 설치하게 되는데 이때 동결현상이 발생하는 구간에서는 발포우레탄 등의 분사식으로 단열공을 시공하여 콘크리트라이닝 배면의 동상을 억제한다.

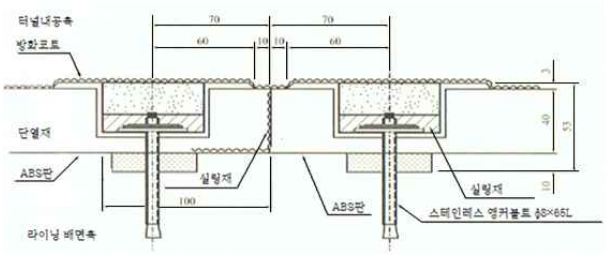


<그림 3.26> OO철도터널 단열공 설치단면

(2) 기존터널 동결방지 대책

누수 방지대책<그림 3.27> <그림 3.28>은 주로 기존터널에 이용되며 콘크리트라이닝 배면의 동상 혹은 터널내 고드름 발생방지에 효과적인 공법이다. 이 공법은 복공 표면으로부터 도수층, 단열층, 방화층의 3층 구조로 이루어지는 동결방지대책이나 주로 누수방지를 목적으로 하고 있기 때문에 누수방지공법이라고도 한다.

또한 야간 선로가 폐쇄된 한정된 시간 내에 공사를 가능하게 하기 때문에 기존 콘크리트라이닝을 신설하지 않고 방수판(ARS수지)과 단열재를 공장에서 접착한 것을 콘크리트라이닝 표면에 앵커 볼트로 고정하고 그 후 콘크리트라이닝 표면 전체에 방화코트를 뿜어서 칠하는 구조이다. 이러한 구조 때문에 터널 콘크리트라이닝 배면의 지반을 빙점 이상으로 보온함과 동시에 누수를 방지하게 한다.



<그림 3.28> 기존 터널의 누수방지 공법

2. 설계기준 조사

가. 동결관련 국내 설계기준 검토

(1) 도로설계편람 제6편 (국토해양부, 2010. 01)

관련내용 없음

도로설계편람에서는 터널의 동결방지를 위한 공법 등이 제시되지 않고 있다.

(2) 터널설계기준 및 해설(국토해양부, 2007. 11)

제8장 배수 및 방수 8.3 배수방법의 세부 사항 8.3.10 갱구부 등 동결이 우려되는 경우에는 배수 시스템 동결 방지대책을 강구하여야 한다.

【해설】

동절기 기온이 낮은 산간지역은 갱구부 라이닝 배면의 지하수가 동결될 우려가 있다. 이로인해 균열이 발생되고 누수되는 유출

수가 동결되어 라이닝 표면에 얼음 형태로 형성되면 이용자에게 심리적, 물리적 위험요소로 작용하며, 동결이 전파 진행되면서 라이닝 구조체를 손상시킬 수 있다.

이러한 경우에는 배수시스템이 외기와 노출되는 부위를 차단하고, 보온장치의 설치, 동파방지를 위한 열선의 배선 등을 계획하여 배수시스템의 동결을 방지 한다.

터널설계기준에서는 배수 및 방수편에서 갱구부 등 동결이 우려될 경우 동결 방지대책을 수립하도록 되어 있으며 해설편에서는 일반적인 부분으로 기존터널과 신설터널에 대한 동결방지대책에 대한 개념 및 대책방안에 대한 설명이 되어 있지 않아 다소 모호한 표현으로 기술되어 있다.

(3) 터널표준시방서(국토해양부, 2009. 01)

관련내용 없음

터널표준시방서에서는 도로설계편람과 마찬가지로 별다른 내용이 제시되어 있지 않은 것으로 조사되었다.

(4) 철도설계편람(노반편)(국토해양부, 2011. 12)

12.8.3 배수방법의 세부사항

(9) 갱구부 등 동결이 우려되는 경우에는 배수 시스템 동결 방지대책을 강구해야 한다.

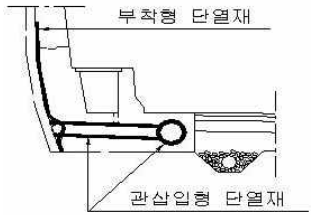
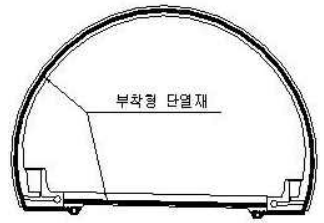
철도설계편람의 경우에는 터널설계기준과 마찬가지로 동결방지대책을 강구하도록 되어 있으나 적용구간 및 적용공법에 대한 내용은 구체적으로 제시되어 있지 않고 개념적인 내용만 표현되어 있는 것으로 조사되었다.

(5) 한국도로공사(2.1절 참조)

한국도로공사에서는 영동고속도로 터널에 대해 동결피해 사례조사((설계처-3293('06. 12. 14) 토대로 터널별 동결지수, 동결기간, 계획고, 터널방향에 대한 검토를 실시하여 수정동결지수가 700℃·일 이상이고 터널 방향을 고려하고 터널 입구부 약 200m 구간에 대해 동결가능성을 검토하여 검토결과에 따라 대책공법을 수립하도록 하고 있다. 배수관에 대해 일부 부착형 단열재 설치하는 방안과 터널 전면에 부착하는 방안을 검토하였으

며 검토결과 경제성 및 시공성에서 유리한 일부 부착형 단열재를 설치하는 것을 선정하였다. 설계중인 노선은 2006년 준공노선부터 적용하고 공사중인 노선은 주관(시행)부서에서 적용여부를 판단하도록 하고 있다.

<표 3.15> 터널 동결방지대책 공법 검토예(한국도로공사 2006. 12. 14)

구 분	제 1 안	제 2 안
개 요 도		
	• 단열재 삽입 및 부착	**• 단열재 터널전면 부착**
특 징	• 터널 외기 유입에 의한 배수관 동결 방지효과 우수 • 지반동결로 인한 동결선 침투 억제 효과 양호 • 시공성 간편 • 경제성 유리	• 터널 전면 및 하부 동결선 침투를 억제하여 보온 효과 우수 • 지반동결로 인한 동결선 침투 억제 효과 우수 • 시공성 다소불리 • 경제성 불리
공 사 비 (제잡비 포함)	65,000원/m	220,000/m
적 용	○	

나. 일본 터널 동결피해 관련 설계기준

(1) 일본터널표준시방서 적용기준 조사

토목학회에서 주관하여 발간한 2006년 제정 터널표준시방서(산악공법편, 동해설)은 1996년 터널표준시방서와 달리 설계편과 시공편을 분리하여 내용을 기술하고 있다.

동결과 관련해서 터널표준시방서에는 설계편과 시공편에 각각 그 내용이 수록되어 있다.

제3편 설계

제6장 방수 및 배수 등 설계

제69조 방수공, 배수공 등 설계일반

터널의 기능을 유지하고 복공 등 열화를 방지하기 위해 터널의 용도에 대응해서 적절한 방수공, 배수공 등을 설계해야 한다.

【해설】

한랭지에서 도로터널, 철도터널은 복공내면에 누수는 고드름 및 측빙으로 차량에 위험한 관리상 문제를 유발시킨다. 작업을 공용후에 실시하기 곤란하고 터널 계획단계에서 충분한 방수공 및 배수공과 병행해서 필요에 의해 지반의 동상방지를 목적으로 하는 방수쉬트와 복공 사이에 단열공을 설치하고 기술적으로도 경제적으로도 얻을 수 있어야 한다.

또한, 단열공에 대해서는 높은 지열에서 복공을 방호하기 위한 목적으로도 사용하는 경우가 있다.

제3편 설계편에서는 방수공, 배수공 등 설계일반에 대한 것으로 개념적인 내용만 기술되어 터널에서의 동결이라는 내용이 직접적으로 제시되어 있지는 않다. 그러나 해설편에서는 한랭지에서 도로터널, 철도터널에 대한 동결문제에 대해 설치하는 방법에 대해서 그 내용을 간략하게 제시하고 있다.

제4편 시공

제10장 방수 및 배수 등 시공

제137조 방수공, 배수공 등 시공

(6) 단열공의 시공에서는 그 기능이 충분히 얻을 수 있도록 확실하게 해야 한다.

【해설】

(6)에 대해서

단열공법은 한랭지에서 복공 배면의 지하수 등 지반의 동결방지를 목적으로 방수시트와 복공 사이에 시공하는 경우가 있다. 또한, 높은 지열의 지반에서는 콘크리트라이닝을 방호하기 위해 사용하는 경우도 있다. 단열공의 시공에 대해서는 목적하는 기능을 얻을 수 있도록 충분히 유의해서 시공할 필요가 있다.

제4편 시공편에서는 단열공 항목을 별도로 내용을 수록하고 있으며 해설편에서 보다 상세하게 그 내용을 제시하고 있다.

(2) 일본 도로설계요령 적용기준 조사

일본의 경우 국토교통성 산하 북해도 지방정비국을 포함하여 총 9개 지방정비국이 있는데 각각의 정비국에 적합한 터널 설계요령을 구비하고 있다. 지방정비국별 터널 동결방지대책에 대한 설계기준 제시 여부에 대한 조사결과는 다음과 같다.

<표 3.16> 주요 국토교통성 지방정비국별 터널 단열재 설치관련 기준조사결과

구 분	개정일	설계기준	관련 내용
북해도지방정비국	2012. 4	제4집 터널 제7장 방수공, 단열공, 배수공	단열재 설계 및 시공편에 대해 상세하게 내용 수록
북륙지방정비국	2012. 4	제10장 터널 10-8 방배수공	도로터널설계기준(구조편)동해설 내용 준용
중부지방정비국	2008. 12	제12장 터널 제4절 방수공 및 배수공	도로터널설계기준(구조편)동해설 제3편 설계, 5. 배수공, 방수공 내용 준용
근기지방정비국	2012. 4	제8장 터널 제8절 방수공, 배수공	도로터널설계기준(구조편)동해설 제3편 설계, 5. 배수공, 방수공 내용 준용
사국지방정비국	2007. 4	제9장 터널 제8절 방수공, 배수공	도로터널설계기준(구조편)동해설 내용 준용

조사결과 터널과 관련된 기본적인 설계기준은 도로터널설계기준을 따르도록 되어 있으며 지역별로 적정한 내용을 간략하게 제시되어 있는 수준이다. 그러나 북해도 지방정비국의 경우에는 다른 지역과 달리 방수공 및 배수공편에서 특별히 단열공이라는 별도의 항목을 두고 관련 설계기준을 제시하고 있는 것으로 조사되었다.

(3) 일본 북해도개발국 도로설계요령(터널, 2012. 4) 소개

7.3 단열재

7.3.1 단열재의 설계

극한지에 있어서의 터널에 대해서는 표고, 동결기간 등을 고려해, 단열재를 설계해야 한다.

7.3.2 단열재의 시공

(1) 분사식 단열재

(2) 분사식 단열재(차세대프론)

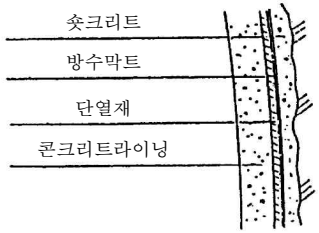
(3) 분사식 단열재(메인프론)

(4) 판넬식 단열재

7.4 단열재 표면방화처리

콘크리트라이닝 배면의 동결·융해는 콘크리트라이닝 본체에 악영향을 주게 되어 크랙, 누수 나아가서는 변상의 원인이 된다. 따라서 콘크리트라이닝 본체를 동결·융해로부터

보호하는 목적으로 단열재를 설치하는 것이 바람직하다. 설치구간에 대해서는 지질상태, 기상 조건을 충분히 고려해야 하며 설치위치는 다음 <그림 3.50>과 같다.



<그림 3.29> 단열재 설치위치도

단열재 재료는 부착식 단열재와 판상 단열재가 있지만, 모두 열전도율이 다르기 때문에 재료의 선정시 각각의 필요 두께를 고려해서 경제성 비교를 실시하여 결정하도록 하고 있다.

단열재료 두께 산정은 열전도 해석에 근거하여 온도약산식에 적용토록 하고 있으며 검토를 위한 물성치 및 관련기준을 제시하고 있다<그림 3.30 참조>.

(1) 断熱材厚の算定

1) 設計法は、準定常熱伝導解析に基づく温度略算式によるものとする。
2) 計算に使用する気温因子は平年値に基づくものとする。
3) 吹付けコンクリート背面温度の許容値は−0.5℃を標準とする。
4) 原則として標高補正を行うものとする。
5) 日較差の項は計算上省略しても良い。
6) 入力物性値は表7.3.1を標準とする。

表7.3.1 熱伝導率と熱容量

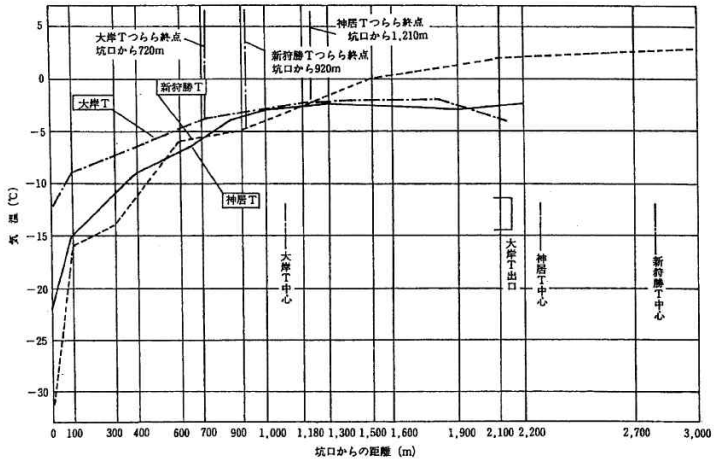
		熱伝導率W/m·k(kcal/m·h·℃)	熱容量kJ/m³·k(kcal/m³·℃)
地山		1.163 (1.0) 注1)	2093 (500)
コンクリート		1.512 (1.3)	2093 (500)
断熱材	板	0.040 (0.034)	41.86 (10)
	吹付け(次世代フロン)	0.031 (0.026)	41.86 (10)
	吹付け(ノンフロン)	0.041 (0.035)	41.86 (10)

注1) 未風化の花崗岩、粘板岩は2.0とする。
注2) 吹付け断熱材は、従来用いられているオゾン破壊係数 (ODP) 0の次世代フロンと、今後運用開始予定のノンフロン材を併記した。

<그림 3.30> 단열재 두께 산정을 위한 적용조건(도로설계요령, 북해도 지방정비국)

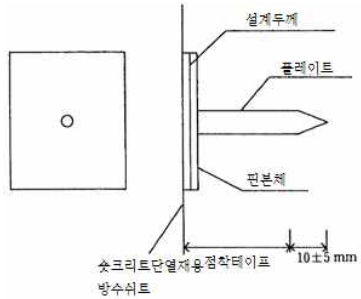
단열재 설치위치는 아래 그림에서 표시한 바와 같이 터널내 온도분포도를 참고로 한다 <그림 3.31 참조>. 각 터널의 연장, 풍향, 풍속 등을 고려하여 외기온도의 영향은 터널

갱구부에서 100m에서 급격히 감소하는 경향을 나타내므로 갱구부에서 100m 정도를 고려하도록 하고 있다.



<그림 3.31> 터널 갱내 온도분포와 고드름 발생 종점 위치(북해도)

단열재 시공에 대해서는 단열재 종류별로 시공방법과 품질관리 방법 등이 자세하게 제시되어 있다. 분사식 단열재의 경우 균일한 두께로 설치하기 위해 시공두께 관리용 핀을 m2당 4개소씩 설치하도록 되어 있다 <그림 3.32 참조>.



<그림 3.32> 분사식 단열재 시공두께 관리용 핀 참고도

단열재의 종류로는 분사식 단열재와 판넬식 단열재로 분류할 수 있다. 각각의 단열재의 재료특성 및 규격기준을 제시하고 있으며 시공방법 및 현장관리도 비교적 상세하게 제시하고 있다. 또한 단열재 발화에 의한 터널내 화재를 방지하기 위해 단열재를 시공한 전 구간에 대해서는 단열재 시공 후 즉시 표면 방화처리를 실시하도록 하고 있다.

다. 기타외국 터널 동결피해 관련 설계기준

(1) 노르웨이 도로협회(2004. 03, NPRA 706 Water and Frost protection methods)

터널 갱구부 설치길이는 동절기가 길고 기온이 낮은 노르웨이에서는 터널의 방수 및 라이닝 동해방지를 위한 연구가 오래전부터 수행되어 왔다.

노르웨이 도로협회에서는 터널의 동결방지 대책 수립시 교통량, 설계속도, 터널길이, 터널단면, 동결지수, 유지관리, 경제성을 고려하여 결정토록 하고 있다. 여기에 추가로 지역적인 특성까지 고려하고 있다.

동절기가 길고 기온이 낮은 노르웨이에서는 터널의 방수 및 라이닝 동해방지를 위한 연구가 오래전부터 수행되어 왔다.

최근에는 터널 라이닝 동해방지를 위해 PE 폼(polyethylene foam)의 사용이 시방에 규정되어 있으며 동결지수 625℃・일 까지의 단열에 PE폼 45mm 두께가 가장 적절한 것으로 보고되고 있다(Broch 등, 2002).

<표 3.17> 노르웨이에 터널의 방수 및 지하수 동결방지 기준 (Broch 등, 2002)

Method of W&FPS :	Tunnel class(AADT)				
	A (<2,500)	B (2,500~ 5,000)	C (5,000~ 10,000)	D (10,000~ 15,000)	E (>15,000 two tubes)
WG-Tunnel fabric, not insulated	○1				
Miljohvelv, insulated (metal sheet W&FPS)	●	●	○2		
PE-foam w/60 mm sprayed concrete, steel fibres	●	●			
PE-foam w/60 mm sprayed concrete, mesh reinforced	●	●	●3	●3	●3
Concrete Elements	●	●	●	●	●
Cast concrete with membrane	●	●	●	●	●

주) 1. may be used up to AADT 1000 (Annual Average Daily Traffic) and below a given frost limit (F_{10T}<20000 h ℃).
2. concept is modified for tunnel class C.
3. concrete wall elements must normally be used

라. 동결관련 국내외 설계기준 검토결과

국토해양부 도로설계편람과 터널표준시방서에는 동결관련 내용이 수록되어 있지 않으나 국토해양부 터널설계기준 및 철도설계기준(노반편)에서는 방배수 편에서 개념적인 내용으로 간략하게 언급되어 있다.

터널설계기준 해설편에서 동결방지대책에 대한 구체적인 내용보다는 일반적인 내용으로 간략하게 소개되어 있는 수준이다.

한국도로공사에서는 영동고속도로 동결피해 사례조사를 토대로 검토하여 적용하도록 되어 있으나 체계적인 검토방법 및 대책 방안 수립에 대해서는 사전 충분한 검토결과 및 근거가 아닌 피해사례를 토대로 제시하고 있다. 단열공법 적용시 재질, 설치 높이, 단열재의 두께 등에 설치와 관련한 내용에 대해서 내용이 제시되어 있지 않다.

해외(일본) 설계기준 분석결과 지역별로 상황에 맞는 동결방지 대책이 제시되어 있으며 구체적인 근거와 함께 검토 방안까지 제시하고 있다. 터널표준시방서(산악공법, 해설)에서 설계편과 시공편에 각각 그 내용이 제시되어 있다. 또한 북해도 도로설계요령에서는 극한지에 있어서의 터널에 대해서는 표고, 동결기간 등을 고려하여 단열재를 설계하도록 제시하고 있다. 구체적인 사례 등과 단열재 설계와 관련된 두께, 시공방법 등 관련 내용을 비교적 상세하게 제시하고 있다.

노르웨이의 경우 터널의 방수 및 라이닝 동해방지를 위한 연구가 오래전부터 수행되어 왔다. 노르웨이 도로협회에서는 터널의 동결방지 대책 수립시 교통량, 설계속도, 터널길이, 터널단면, 동결지수, 유지관리, 경제성을 고려하여 결정토록 하고 있다. 여기에 추가로 지역적인 특성까지 고려하고 있다.

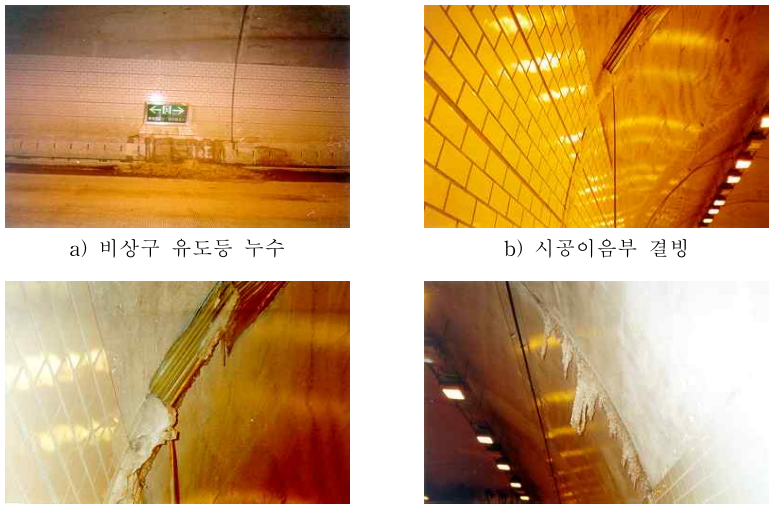
3. 동결피해 사례

가. 국내터널 동결피해 사례

대관령 1 터널은 대관령 지역의 일평균 기온이 약 -7℃ 이하로 2~3일간 지속될 경우 배수관이 동결되는 현상이 관찰되었으며 시공 이음부의 측벽바닥에서 천정부까지 올라가면서 고드름이 발생한 후 외기가 0℃ 이상이 되면 고드름이 녹아내리는 현상이 반복적으로 발생하였다<그림 3.33, 그림 3.34 참조>.



<그림 3.33> 터널배수관 현황 및 배수관 결빙상태 확인



a) 비상구 유도등 누수　　b) 시공이음부 결빙

c) 시공이음부 결빙　　d) 신축이음부 결빙

<그림 3.34> 대관령 1터널 주요구간별 동결피해 현황

한국도로공사에서는 영동고속도로 터널에 대해 동결피해 사례조사를 실시하였다(설계처-3293('06. 12. 14).

조사결과 둔내터널 종점부, 봉평터널 종점부, 대관령1터널 시점부에서 동결피해가 발생한 것으로 나타났다<표 3.18 참조>. 결빙은 터널 종배수관과 횡배수관에서 주로 발생하여 배수관이 막혀 있는 상태이며 일부 조인트부에 누수가 발생한 것으로 조사되었다. 결빙구간은 터널 입구로부터 약 200m구간까지 발생하였다.

<표 3.18> 터널별 결빙발생 현황

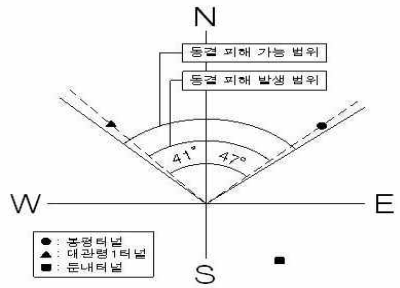
터널명	연장(m)	결빙배수시설	결빙구간	결빙상태
둔내(인천방향)	3,300	종배수관(D400) 횡배수관(D100)	입구~200m까지	배수관 막힘
봉평(인천방향)	1,420	종배수관(D300)	입구~200m까지	배수관 막힘
대관령1 (강릉방향)	1,830	횡배수관(D100)	입구~200m까지	배수관 막힘 조인트부 누수발생

터널별 동결지수, 동결기간, 계획고, 터널방향, 발생현황에 대해서도 조사하여 상관관계를 분석하였다. 수정동결지수와 터널방향과의 분석결과에 의하면 결빙피해를 입은 터널은 수정동결지수 700 이상에서 발생하였다<그림 3.35 참조>.



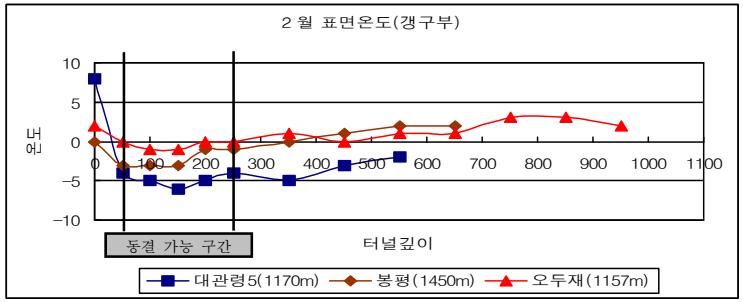
<그림 3.35> 수정동결지수에 의한 동결가능성 판단

터널 방향에 따른 동결가능성 파악결과 봉평터널 입구부(N47E)와 대관령1터널 입구부(N41W)는 터널방향을 고려할 때 일조량이 적은 구간에 위치하여 동결 피해가 발생한 것으로 나타났다<그림 3.36 참조>.

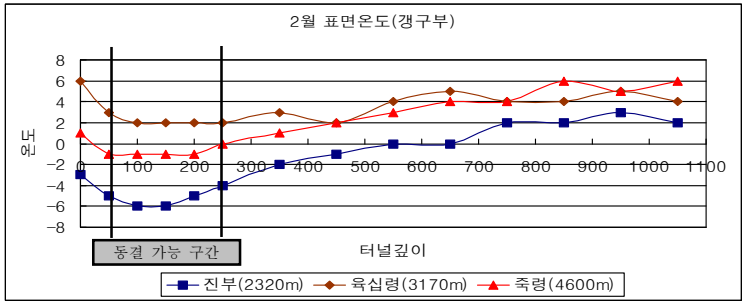


<그림 3.36> 터널방향에 의한 동결가능성 판단

도로교통기술원에서 영동고속도로 운용중 터널에 대한 온도를 측정한 자료('05. 2 측정)에 의하면 외기에 의한 동결 가능 구간은 터널 입구부에서 50 ~ 250m구간인 약 200m 구간에서 발생한 것으로 조사되었다<그림 3.37>.



a) 터널 연장 2km 이하 갱구부 표면온도 변화



b) 터널 연장 3km ~ 5km 이하 갱구부 표면온도 변화

<그림 3.37> 터널 연장별 온도에 의한 동결가능성 분석

배수시설 결빙피해구간 조사결과에 따르면 수정동결지수가 700℃・일이상이고 터널 방향이 N50°E ~ N45°W인 터널에서 주로 발생하였으며 피해가 발생한 구간은 터널 입구부 약 200m 구간에서 동결된 것으로 조사되었다<표 3.19>

<표 3.19> 터널별 동결지수, 동결기간, 계획고, 터널방향, 발생현황

터널명		동결지수 (℃・일)	동결기간 (일)	계획고 (m)	수정동결지수 (℃・일)	터널방향		비 고
마 성	시점	500.72	89	141.7	519.3	N37W		
	종점	502.63	89	132.8	517.2	S48E		
양 지	시점	515.24	89	158.3	541.2	N59W		
	종점	515.99	89	164.5	544.7	S59E		
강 천	시점	577.77	94	89.3	572.7	N81W		
	종점	578.13	94	87.5	572.3	S81E		
둔 내	시점	536.45	94	707.2	821.8	N43W		
	종점	529.57	94	657.3	791.5	S43E		상행선 입구 동결
봉 평	시점	511.38	94	536.3	716.4	S43W		
	종점	508.51	94	549.3	719.7	N47E		상행선 입구 동결
진부1・2	시점	471.88	94	676.7	742.9	S81W		
	종점	463.71	94	631.3	713.4	N79E		
진부3	시점	461.60	94	613.4	702.9	S80W		
	종점	458.32	94	599.1	692.9	N80E		
대관령1	시점	374.04	127	751.3	787.6	N41W		하행선 입구 동결
	종점	366.36	127	715.7	757.3	N86E		
대관령4	시점	356.29	127	642.7	642.7	S3E		
	종점	348.73	127	618.7	618.7	N2W		
대관령5	시점	347.37	127	605.7	605.7	S2E		
	종점	345.38	127	584.4	584.4	N20W		
대관령6	시점	343.68	127	565.5	565.5	S24E		
	종점	342.85	127	560.6	560.6	N10W		
대관령7	시점	337.76	127	543.7	543.7	S29W		
	종점	336.78	127	541.1	541.1	N21E		

서울외곽순환고속도로 소래터널은 2아치 터널로 겨울철 동결피해로 인해 수차례 보수보강을 실시하였다. 2아치 터널은 중앙 기둥부 배수파이프 의 결빙에 따라 누수가 발생되었으며 배수관 및 거더부에 동판 또는 전열선을 이용한 융빙시설까지 도입하였으나 지속적으로 배수관 막힘 및 하자가 발생한 사례이다<그림 3.38>.





a) 거더부 누수로 인한 고드름 발생 현황 b) 기둥부 판넬 내부 결빙

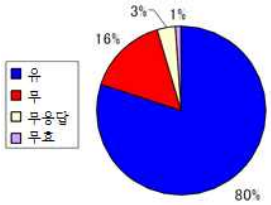
<그림 3.39> 소래터널 동결피해 현황

나. 일본 터널 동결피해 사례

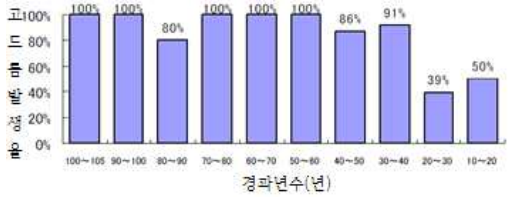
(1) 북해도의 설빙(No.26, 2007)

북해도 터널 178개소에 대해 발생현황을 조사(2006년)하였으며 대상터널의 총연장은 203.9km이며, 이는 JR선 전체연장 2,499.8km의 8%에 해당된다<그림 3.40 참조>.

고드름 발생수는 전체 대상터널중 약 80%이며 년도별 발생율 분석결과 경과년수가 1980년도를 기준으로 30~40년 이상 경과한 터널의 경우에는 약 91% 이상이었으나 20~30년 경과한 터널의 경우에는 39%로서 최근에 준공된 터널일수록 고드름 피해가 현격하게 줄어들고 있다<그림 3.41 참조>.



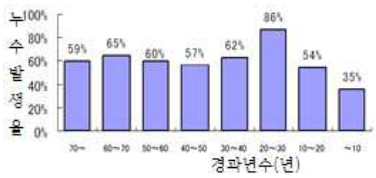
<그림 3.40> 터널구간 고드름 발생비율



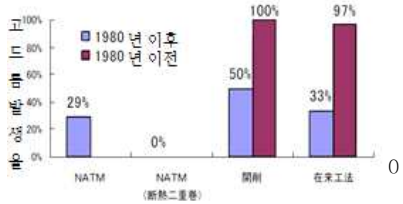
<그림 3.41> 시간경과별 고드름 발생율(발생수/전체)

1980년도를 기준으로 10~20년 이상 증가하였을 경우에는 누수발생율이 급격히 감소하고 있는 것으로 나타났으며 이는 1980년대 이후 NATM이 도입되어 콘크리트라이닝을 적용하므로써 누수발생 비율이 감소하고 있는 것으로 파악된다<그림 3.41 참조>.

공법별 고드름 발생비율을 보면 NATM 적용시 발생비율이 현격하게 낮아졌으며 특히 단열 이중라이닝공법을 적용하므로써 발생비율이 0%인 것으로 조사되었다<그림 3.43 참조>.



<그림 3.42> 시간경과별 누수발생 비율



<그림 3.43> 공법별 고드름 발생비율

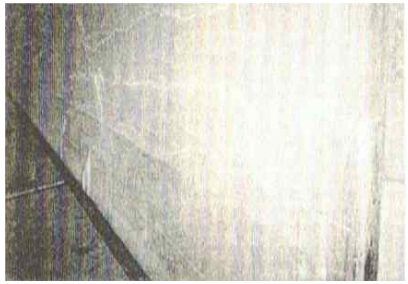
(2) 동상압에 의한 콘크리트라이닝의 균열

(가) 개요

산악터널 콘크리트라이닝 배면의 동결과 융해는 콘크리트라이닝 구조물에 악영향을 미치게 되어 균열, 누수, 더 나아가서는 변형의 원인이 된다 <그림 3.44>.

현재 북해도 개발국에서는 일부 극한지역의 산악터널에 대해서는 표고, 동결기간 등을 고려하여 갱구 부근에 단열공법을 적용하고 있다.

단열공법은 숏크리트와 콘크리트라이닝 사이 또는 콘크리트라이닝의 내측에 단열재를 설치한다. 단열재의 설치연장은 외기온의 영향을 가장 받기 쉬운 갱구로부터 100m정도로 하고 있는 경우가 많다.



<그림 3.44> 콘크리트라이닝의 균열

(나) 발생 상황

A터널에서 융설기에 콘크리트라이닝에 종단방향의 균열이 발생하여 물이 스며 나오는 것이 확인되었다. 콘크리트라이닝의 배면에 다량의 물이 존재하고 있을 가능성이 크다고 추측하여 터널내에서 수발공을 전체 15공을 천공한 결과 상당량의 용수가 확인되었다. 그 후 약 2개월간에 걸쳐 수발공으로부터 용수량을 관측한 결과 수일간 용수가 확인되었다.

또한 수발공 이외에도 천장부에서 물이 스며 나오는 것을 확인할 수 있는 상황이었다.

그대로 방치할 경우 동절기에 수발공으로부터 콘크리트라이닝 배면에 직접 냉기가 전해져 배면수의 동결을 발생할 가능성이 크며 또한 융설기에는 수발공으로부터 도로까지 물이 유출되어 노면동결에 의해 안전 주행의 방해가 될 가능성이 있을 것으로 예측되었다. 이러한 이유로 인해 동절기 전에 대책을 수립해야 할 필요성이 제기되었다.

(다) 원인

본 터널에서의 변형 원인에 관하여, 동측 갱구부 주변에서 비탈면 붕괴 대책으로 앵커를 시공한 실적이 있었기 때문에, 비탈면 붕괴 요인으로 판단하여 현지 조사를 실시하였지만 다음과 같은 이유로 동상압에 의한 요인으로 추정하였다.

① 터널부분을 포함하는 비탈면 붕괴 지형으로는 동측 갱구부 주변으로 예상되나 이미 대책을 수립하였으며 대책을 수립한 곳에서의 변형은 확인되지 않았다.

② 터널의 횡방향 균열 등이 확인되지 않았다.

③ 터널 시공 중 막장에서는 경암이 나타나고 있었다.

또한 수압 및 동상압의 요인이 되는 지하수 상태는 아래와 같은 이유로 지하수가 풍부하여 콘크리트라이닝의 변형 원인을 동상압으로 판단하였다.

① 용수가 많은 터널내 수발공 주변은 비탈면 붕괴 블록의 측방부근에 위치하여 일반적으로 지하수 유동이 있다고 판단된다.

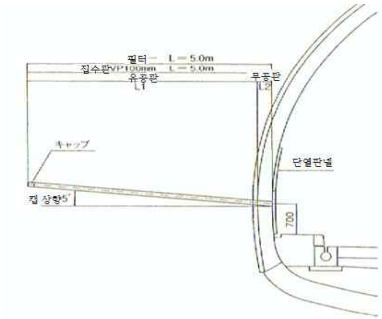
② 계곡 지형의 중심 부근이어서 상부에서 집수되는 형태이다.

③ 앵커 등에 의한 대책으로 지하수 유동경로가 변화하여 물이 돌아서 올 가능성이 있다(앵커 조임, 그라우팅, 몰탈 숏크리트 등에 의해 차수 된다).

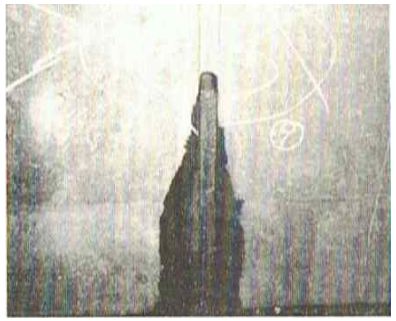
(라) 대책공

터널내 수발공으로부터의 용수량에 대한 간이관측 결과 강우일 이후 수일간에 걸쳐 터널 콘크리트라이닝 면으로부터 물이 스며 나오는 것이 확인되었다. 이것은 터널 배수공의 처리 능력이 부족함과 동시에 이미 천공한 15공의 수발공으로는 배수처리 능력이 부족하다고 판단하였기 때문에 이에 대한 대책으로 수발공을 늘리든지 수발공의 공경을 크게 할 필요가 있었다. 기존 수발공의 용수량 관측 결과를 이용하여 용수가 확인된 9공에 대해서는 새로운 수발공의 천공을 실시하였다<그림 3.45, 그림 3.46.참조>.

Φ100mm의 수발공을 실시하고 1공당 길이 5.0m로 하여 지하수위를 저하시켰으며 수발공 입구에 대한 동결방지를 위해 단열 판넬을 설치했다.



<그림 3.45> 수발공에 의한 대책공 단면



<그림 3.46> 수발 보링

(3) 철도터널의 동결피해 사례

터널의 동해로서는 터널 콘크리트라이닝에 발생하는 고드름, 측빙, 콘크리트라이닝의 열화, 동결토압에 의한 콘크리트라이닝의 압출 등이 있으며 이러한 피해는 열차 운행에 커다란 문제가 될 수 있다. <그림 3.47> <그림 3.48>은 동결로 인해 측빙 및 콘크리트라이닝의 압출이 발생한 사례이다.



<그림 3.47> 터널내의 측빙



<그림 3.48> 동결압에 의한 터널측벽 압출

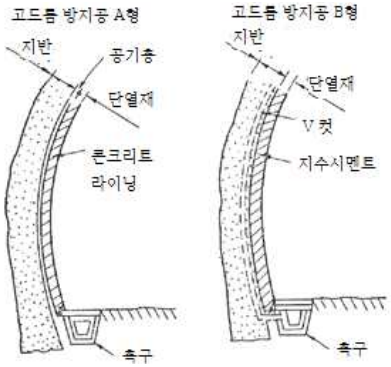
(가) 재래식 터널 대책 사례-1 (Haboro선 Shosanbetsu터널)

초산별(Shosanbetsu)터널은 연장 270m의 단선터널로 동절기 고드름과 측빙의 발생이 현저하여 제빙 작업 등 보수에 곤란을 초래하였기 때문에 1971년에 표면 단열공법을 실시하였다. 표면단열공법 즉 복공표면을 단열처리하는 이 공법은 직접적으로는 터널 복공의 외측에 부착하는 고드름이나 측빙의 발생을 방지하는 것이지만 덧붙여 단열처리에 의한 복공 배면지반의 동결방지도 기대할 수 있는 것이다. 이 공법에는 누수의 상태에 따

라 2가지 방법이 있어 하나는 단열재와 복공표면 사이에 공기층을 가지는 공법 (여기에서는 고드름 방지공 A형이라고 한다)이며 또 하나는 공기층을 가지지 않는 공법(여기서는 고드름 방지형 B형이라고 한다)이다.

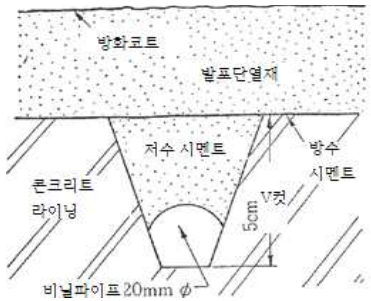
고드름 방지공 A형은 콘크리트라이닝의 표면에 방수판으로서 염화비닐 슬레이트 등이 일정한 공극을 두고 앵커로 설치되었다. 방수판의 상부에는 우레탄계열의 발포단열재를 뿌리고 그 상부에 다시 방화 코트를 뿌려 <그림 3.49>의 왼쪽과 같은 구조이다.

터널의 누수는 콘크리트라이닝과 방수판 사이의 공극을 통해 얼지 않고 자유 낙하하여 배수관에 연결되도록 되어 있어 누수 개소에 한정할 필요가 없다. 한편 고드름 방지공 B형은 <그림 3.49>의 오른쪽 그림과 같이 콘크리트라이닝 표면에 방수 시멘트 등을 직접 살포하는 것으로 그 상부에 발포 단열재와 방수 코트가 뿌려진다.



<그림 3.49> 고드름 방지공 단면도

이 공법은 방화재의 살포하여 누수 개소를 따라 콘크리트라이닝을 <그림 3.50>같이 V형으로 홈을 파서 연화비닐 파이프의 반원을 설치하여 누수의 유로를 만든다.



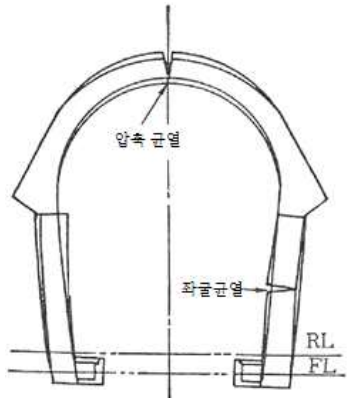
<그림 3.50> 고드름 방지공에서의 누수처리

고드름 방지공 B형의 경우는 방수시멘트의 재래식 콘크리트라이닝면에 대한 부착성에서 문제가 있었기 때문에 고드름 방지공 A형이 채택되었다.

이 공법의 효과 확인을 위해 시공 구간과 무시공구간에서의 온도 측정을 실시한 결과 무 시공구간에서는 복공배면까지 영하의 온도를 나타내고 있는 것에 비해 시공구간에서는 복공 배면에서 3℃의 온도를 유지하고 있는 것이 확인되었다.

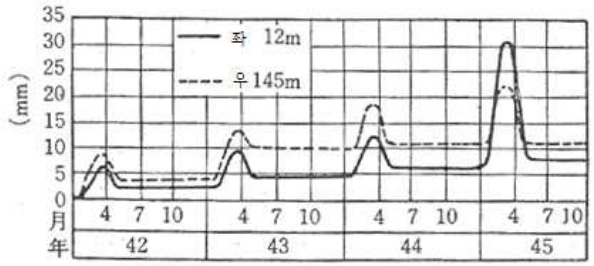
(나) 재래식 터널 대책 사례-2 (동북본선 Nakayama터널)

Nakayama터널은 선로 증설공사로 신설 후 4년반 만에 지반동결에 의한 팽창압에 의해 변형이 현저하게 발생하여 콘크리트라이닝을 새로 설치하거나 보강을 실시하였다. 변상이 발생한 모습은 <그림 3.51> 같으며 특히 측벽부분에서 변상이 매우 심하게 발생하였으며 오른쪽은 수평 균열 타입이고 왼쪽은 압출(밀려 나온) 타입이었다.



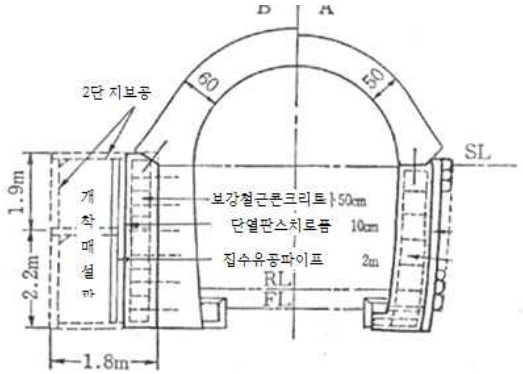
<그림 3.51> 변형 형태

또 균열은 <그림 3.52>에 나타낸 바와 같이 3월말까지 진행되다가 4월말에는 최대 변형의 반 정도가 복원되는 변화가 반복되어 잔류량이 점차 증가해 가는 경향을 보이고 있었다.



<그림 3.52> 균열 변화도

대책으로서는 압출이 특히 큰 측벽(우측 중앙부 26m, 좌측 출구부 28m)을 긴급 복구하는 것으로 하여 우측에 대해서는 새로 설치, 좌측은 열차 운행에 지장을 초래하기 때문에 측벽 배면을 굴착한 후 변형부를 배면에서 보강하는 방식을 적용하였다.<그림 3.53>



<그림 3.53> 대책공 개요도

또한 새로 설치하는 방안에 대해서는 열차 운행 중지를 허용하지 않기 때문에 열차를 운행하면서 시공하는 것으로 하였다. 열차 사이의 운행 중지시간을 이용하여 시공하였으며 특히 열차 운행의 안전성 확보를 위해 모든 공정을 낮 시간에 작업을 실시하였다. <표 3.20>은 측벽에 새로 설치하는 방안에 대한 공정표이다.



<표 3.20> 측벽 개축 사이클 공정표

단열재는, 단열 효과가 좋고 습기를 흡수하지 않으며 압축강도가 크고 내구성이 있는 것으로 하여 발포 폴리스틸렌 폼 두께 100mm을 사용하였지만 만약을 위해 비닐을 지반측에 한하여 방수하였다. 단열재의 효과에 관해서는 온도계 및 계측기를 설치하여 재래식 콘크리트나 배면 지반의 온도와 개축부의 온도를 비교 확인하였다.

(다) 신설 터널 대책 사례-1 (Muroran본선 Ranpokke터널)

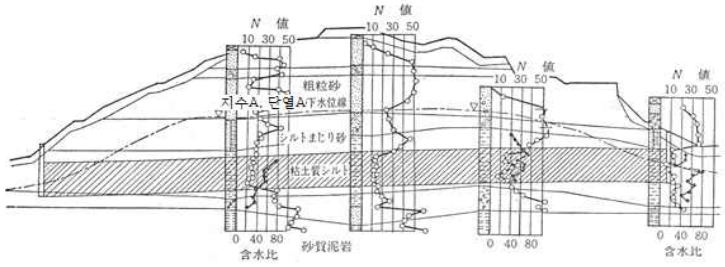
Ranpokke터널은 북해도의 국철 간선인 Chitose선, Muroran본선의 전화공사의 일환으로 신설된 복선교류전화단면의 터널로 연장 322m중 양갱구부 40m 및 37m 구간을 측벽도갱선진공법으로 중앙부 245m구간을 NATM공법으로 시공하였다. 시공에 있어서는 한냉지에서의 터널임을 감안하여 동해대책에 만전을 기함과 동시에 방수 시트 및 특히 지하수가 높은 구간은 단열재를 숏크리트와 복공 사이에 설치하는 방안을 강구하였다.

단열공법 적용구간은 투수층으로서의 부직포에 클로로프렌 고무(두께 0.5mm)를 붙인 방수 시트를 숏크리트 표면에 핀 고정하고 그 위에 경질 폴리우렌탄 수지를 뿌려 붙이고 그 후 콘크리트라이닝을 설치하였다. 경질 폴리우레탄 수지의 뿌려 붙이는 양은 철도종합기술연구소의 자료에 근거하여 30mm로 하였다. 방수공만의 구간은 비교 검토를 위해 폴리에틸렌 계열, 염화 비닐 계열 초산 비닐 계열의 3종류를 시공했다. 이 가운데 2종류는 통상 사용되고 있는 방수 시트(두께 0.4mm)을 이용하였고 나머지 한 종류의 방수공은 지하수위가 높고, 지형적으로 계곡부여서 지표수의 공급 가능성이 있는 구간에 배수용 리브가 달린 두꺼운 방수 시트를 이용하였다. 단열공법의 효과를 확인하기 위해 온도 측정을 실시한 결과 그 효과가 명백하게 나타났다.

(라) 신설 터널 대책 사례-2 (Muroran본선 Shin-Naobetsu터널)

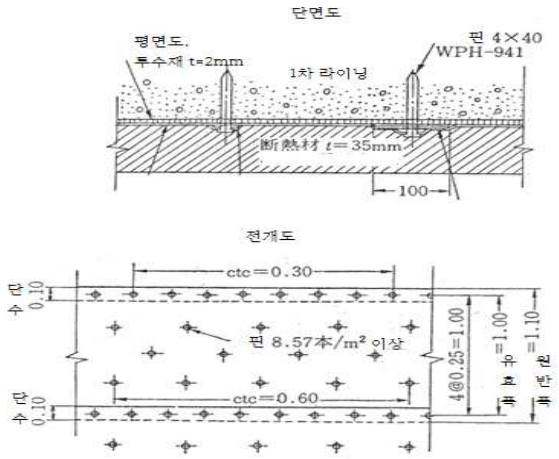
Shin-Naobetsu은 1911년 건설된 Naobetsu터널의 노후화 때문에 기존 터널의 좌측에

신설된 터널이다. 터널연장은 300m이며 출입구 각각 30m씩을 Side Pilot공법을 적용하였으며 중앙부 240m구간에는 NATM공법으로 시공하였다. 역에서는 동결대책으로 전 연장을 지수단열 구조로 하였다. <그림 3.75> 는 신설터널의 동결대책에 대한 시공 일반도이다.



공법		사일론	NATM L=240m		사일론
지보공		H-150 ctc 900	N-100 ctc 900		H-150 ctc 900
覆	1차	t=250	숏크리트 t=200	록볼트 −D=25 L=3 000 N=14 ctc 900	t=250
工	止水 断熱	非断熱調査区間	지수A, 단열A t=40	止水B·断熱B t=40 L=50m	지수A, 단열A t=40
	2차	t=350	t=350		t=350

<그림 3.54> 시공 일반도



<그림 3.55> 지수단열공 상세도

숏크리트와 콘크리트라이닝 사이에 지수단열재를 설치하는 샌드위치 공법이지만 비교검토를 위해 2타입을 시험시공하였다. 지수A, 단열A 타입은 미리 접착한 투수 시트(두께 2mm), 지수 시트(두께 0.7mm)를 핀을 박아 설치하고 그 상부에 단열재로서 발표우레탄을 3~4층 뿜어 부친 것이다. 지수B, 단열B 타입은 투수 시트(두께 2mm)를 접착제가 있는 와셔로 설치하고 지수 시트(1.2mm)를 와셔에 접착시킨 후에 포리우레탄 계열 단열재(10mm)를 4층 접착하는 것이다. <그림 3.55>에 양 공법의 상세도를 나타내었다. 또한 단열재의 두께는 철도종합연구소의 연구자료 및 FEM에 의한 열전도 해석결과에 근거하여 결정하였다.

이 터널에서도 시공 후의 효과 확인을 위해 온도 측정 등을 실시하였다.

(4) 그 외 터널구조물 피해사례 및 대책

(가) 터널내 무인버트 구간의 동상대책

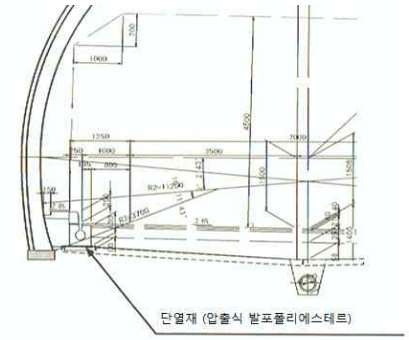
동절기 터널 내 기온은, 터널 외부보다는 높지만, 풍향에 따라서는 터널 내 전 연장이 영향의 기상 조건이 되기도 한다. 본 사례는, 터널 내 인버트가 없는 구간에서 동상에 의한 요인으로 추정되는 노면 융기현상이 발생했다. 다음과 같은 요인이 판단되었다.

① 지반의 용수가 콘크리트라이닝 각부 부근으로부터 노반에 공급되었다.

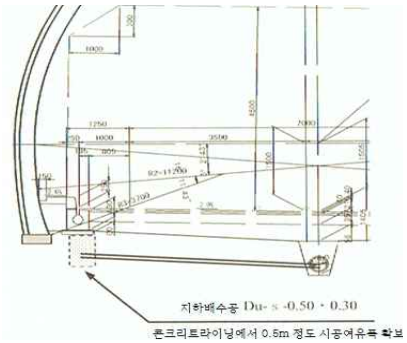
② 지반이 동상현상으로 인해 변질되었을 가능성이 있다.

③ 횡단배수공의 동결·폐쇄에 의해 용수가 공급되었다.

대책으로서, ②에 대해서는 단열재에 의한 대책(그림 3.77), ①과 ③에 대해서는 지하배수공의 설치와 횡단배수관을 추가하여 중앙배수관으로 유도하였다.

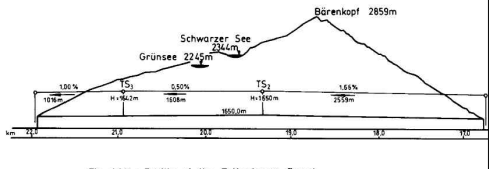
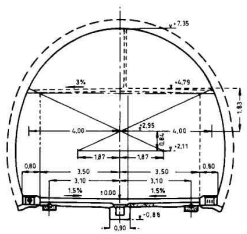
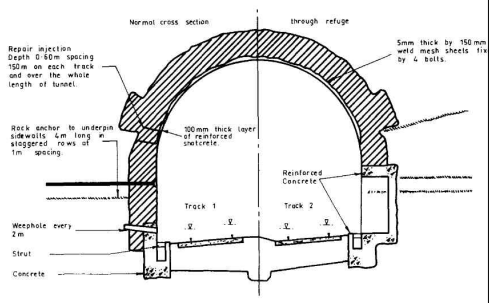


<그림 3,56> 단열재에 의한 동상대책공



<그림 3.57> 지하수 배수와 횡단 배수관

다. 기타외국 터널 동결피해 사례

국가	터널현황	발생현황
오스트리아	 Fig. A1/1 : Profile of the Felbertauern Tunnel  Fig. A1/2 : Cross-section of the Felbertauern Tunnel	-도로터널 -터널연장 : 5,183m -시공년도 : 1962~1967 -터널내 최저기온이 -12℃임 -갱문 부근 시공이음부에서 누수 발생 -갱구부에서 700m구간까지 고드름 발생 -고드름 제거를 위해 2h/day 시간 소요
프랑스	 Fig. F2/2 PAGNY SUR MEUSE TUNNEL SITUATION AFTER RENOVATION	-철도터널(복선) -터널연장 : 572m -시공년도 : 1846~1851 -벽돌벽체 풍화와 부분적인 균열로 누수 및 동결 발생
스위스	-Kulmtunnel	-도로터널 -터널연장 : 700m -시공년도 : 1964 -라이닝에 균열증가로 인해 누수 및 동결
독일	-Berlin tunnel	-도로터널 -터널연장 : 882m -시공년도 : 1978 -벽체 및 천장부 동결

4. 동결피해 대책공법

가. 국내 동결피해 방지대책

동결방지 대책으로 누수대책공, 단열공법, 가열공법 등으로 터널의 환경조건에 따라 효율성, 내구성 및 경제성을 고려하여 적절한 대책공법을 선정하도록 되어 있다.

동결방지 대책의 목적은 다음과 같다.

- 동결융해에 의한 라이닝 재료의 열화방지
- 배면지반의 동상압에 의한 터널의 변상방지
- 고드름, 측빙, 빙파의 발생에 의한 차량운행에 유해한 영향 방지
- 터널내 작업의 안정성 확보
- 고드름 제거 등 보수작업의 용이성 확보

<표 3.21> 동결방지 대책공법 선정(국토해양부, 시설안전공단)

구분 \ 선정요인		누수·동결상태[1]	선상		면상		비 고
		단면의 여유[2]	유	무	유	무	
단열공법	홈파기 단열재 삽입공법		○*	○**			*: 한랭정도가 작은 경우에 유효 **: 단열재 폭이 U홈의 폭 이상으로 필요
	표면 단열처리공법		○		○		
	이중 라이닝 단열처리공법				○	○	라이닝 강화가 필요한 경우, 개축과 병용
가열공법	전열난방기, 열관		○				한랭이 심하고 국부적인 누수 경우 (전원이 필요)

주) 1. 누수·동결 상태 : 「선상」 - 누수·동결이 선상으로 분포하고 있는 경우
: 「면상」 - 누수·동결이 면상으로 분포하고 있는 경우
2. 내공단면의 여유 : 「유」 - 라이닝표면에 단열재를 시공할 만큼의 여유량이 있는 경우
: 「무」 - 라이닝표면에 단열재를 시공할 만큼의 여유량이 없는 경우

누수대책공법도 동결방지 대책으로 사용되고 있으며 누수대책공법에는 도수공법, 홈파기공법, 지수공법, 뿜어붙임 및 도포공법, 방수판, 방수쉬트, 배면주입공법, 수위저하공법 등이 있다.

누수대책 공법의 목적은 누수에 의한 터널의 기능, 갱내 설비의 기능 확보와 안전운전, 작업 환경의 개선이다. 누수의 발생상황을 정확히 조사하여 대책공의 효과, 시공성, 경제성 및 내구성을 고려하여 안전하게 시행하도록 되어 있다.

<표 3.22> 누수에 대한 대책공법

선정요인 / 구분	누수상태[1]	선상				면상				비고
	누수량	소량		다량		소량		다량		
	단면의 여유[2]	유	무	유	무	유	무	유	무	
선상 대책 공법	도수공법	○	-	○	-	△	-	△	-	
	홈파기 공법	-	○	○	○	-	○	-	○	-U, V컷 공법 -면상대책공법의 전처리로서 시행
	지수공법	△	△	-	-	-	-	-	-	-누수량이 물방울 형성 정도이고 범위가 한정되는 경우 적용 가능
면상 공법	뿜어붙임공법	-	-	-	-	○	-	○	-	-철망, 앵커 및 도수공법 병용 필요
	도포공법	-	-	-	-	△	△	-	-	-누수 정도가 경미할 때만 적용
	방수판	-	-	-	-	-	-	○	-	
	방수시트	-	-	-	-	○		○	-	-내부 라이닝 개축 등을 행할 경우
배면주입공법										-토피가 작고 지표수와 우수가 터널배면 공동을 통하여 직접 터널내로 유입되는 경우
수위저하공법										-지하수위가 높은 상태에서 용수나 열차 하중의 반복하중에 의한 지반재료의 배출

주) 1. 누수・동결 상태 :「선상」 - 누수・동결이 선상으로 분포하고 있는 경우
:「면상」 - 누수・동결이 면상으로 분포하고 있는 경우
2. 내공단면의 여유 :「유」 - 라이닝표면에 단열재를 시공할 만큼의 여유량이 있는 경우
:「무」 - 라이닝표면에 단열재를 시공할 만큼의 여유량이 없는 경우
3. ○ : 적용가능한 공법, △ : 경우에 따라서 적용할 수 있는 공법

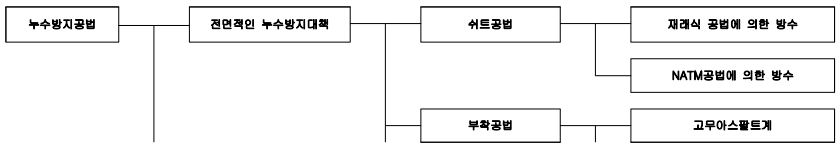
나. 일본 터널 동결피해 방지대책

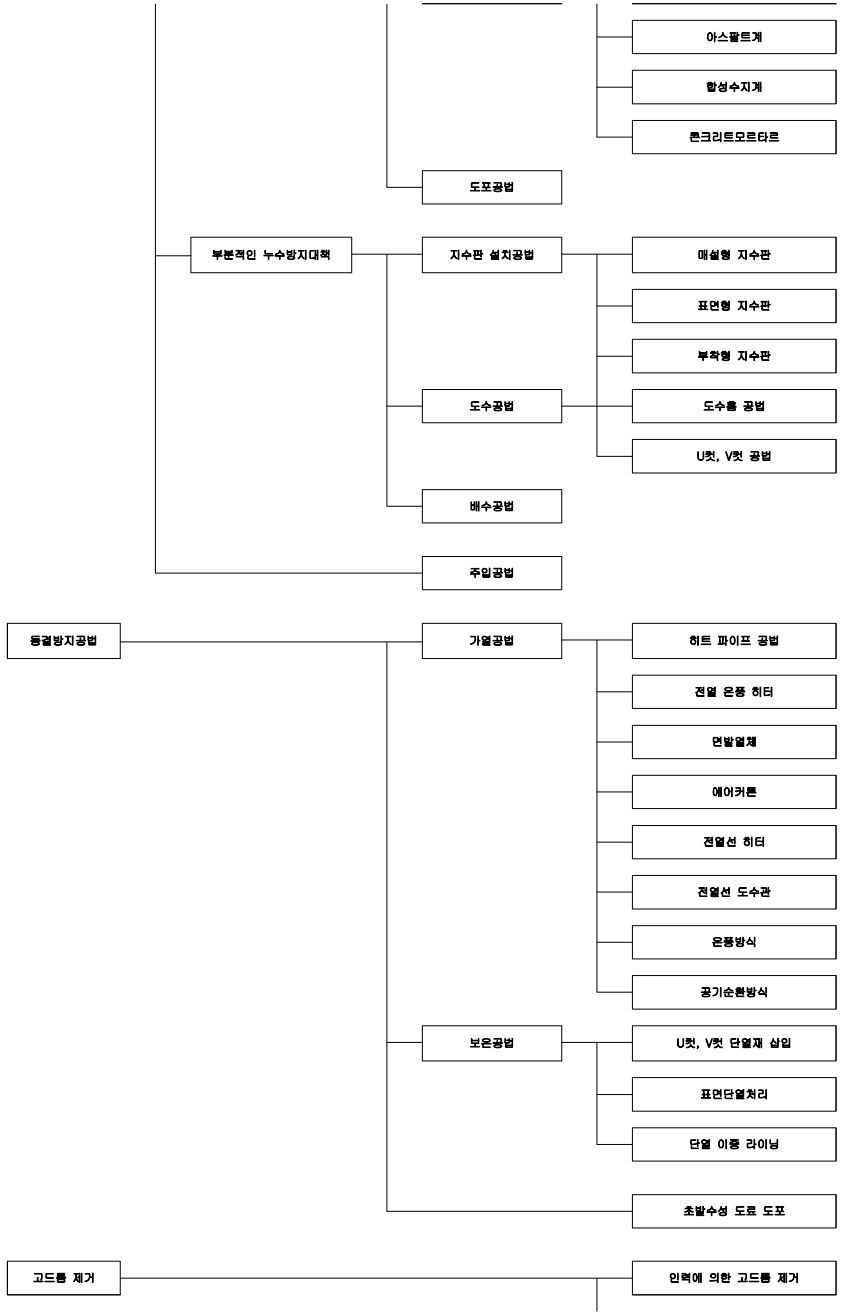
(1) 개요

일본에서 사용하고 있는 터널내 동결방지 대책은 크게 누수방지공법, 동결방지 공법, 직접 고드름 제거하는 방법으로 분류할 수 있다.

누수방지공법으로는 방수용 쉬트를 이용하거나 고무아스팔트계 등을 이용하여 부착하는 전면적인 누수방지대책공법이 있으며 부분적인 누수방지대책으로 지수판을 설치하거나 도수용 홈을 파거나 배수하는 방법이 있다.

동결방지 공법에는 전열선 또는 온풍 히터 등을 이용한 가열공법과 단열재를 이용한 보온공법이 있다.





<그림 3.58> 동결방지 대책공법

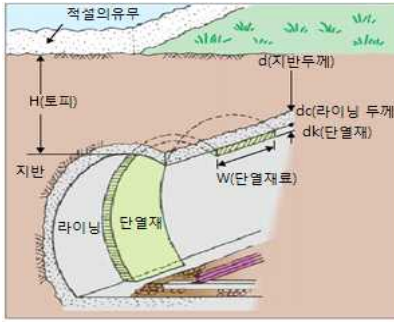
(2) 단열처리에 의한 고드름, 동상 방지공법

터널의 동결방지 공법 선정시 터널내 온도, 누수온도, 누수량 등의 조건을 고려해야 하며 지반의 동결조건 등을 조사해야 한다. 누수방지공법에는 고드름이나 동상을 방지하지 할 수 없는 경우에는 적극적인 동결방공법을 계획해야 한다.

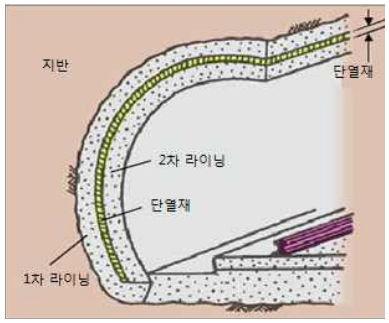
동결방지 공법에는 가열공법과 보온공법 등이 있으며 가열공법은 전열선을 통해 가열하는 것으로 전기 배선이 있는 경우에만 국한적으로 사용할 수 있다. 보온공법에는 히팅파이프 공법이 주로 있으며 홋가이도나 토호쿠 등의 한랭지역에 있는 터널에서 효과가 발휘되었다.

단열공법은 콘크리트라이닝 표면에 단열재를 설치해 지반의 열을 겨울철에 터널 내공으로 방출되지 않도록 하는 것으로 단열재의 배면을 영상으로 유지하는 방법이다. 열전도, 열전달 해석에 의해 단열재의 두께와 폭(W, dh), 적설의 유무(S), 터널 갱구로 부터의 거리 등을 포함한 표면단열공법의 설계가 제안되기도 한다.

단열이중라이닝공법은 기존 터널용 단열공법을 발전시킨 것으로 NATM 1차라이닝과 2차라이닝 사이에 단열재를 설치하는 공법으로 터널 길이별로 단열재 두께를 조절하여 경제성을 향상시켰다.



<그림 3.59> 기존터널용 고드름 방지 단열공법



<그림 3.60> 신설터널용 단열이중라이닝공법

다. 동결피해 방지를 위한 인프라시스템

(1) 터널 동결피해 방지 시스템 구축

터널 동결피해 방지 시스템을 구축하기 위해서는 우선 국내터널의 기상조건 및 기후조건, 표고, 터널연장, 일조조건 등 다양한 영향인자을 파악하여 분석하는 것이 필요하며 동결발생 조건을 제시할 필요가 있다.

정량적인 평가를 위해서는 경험식이나 수치해석적인 방법이 필요하며 이때 적용한 파라메타에 대한 적정성 검증도 아울러 이루어져야 할 것이다. 계측을 통한 데이터를 축적하는 방법도 파라메타의 신뢰성을 확보하기 위한 하나의 방법이 될 수 있을 것으로 본다.

국내 터널에 대한 동결피해 사례에 대한 광범위하고 체계적인 피해사례조사가 필요할 것으로 판단된다. 국내 기상자료와 동결심도 및 관련 자료를 통해 동결피해 대상 지역을 선정하고 장기간에 걸쳐 온도변화에 따른 동결피해 사례를 면밀하게 조사할 필요가 있다. 또한 동결피해 사례조사를 실시하여 구체적이고 정량적인 데이터를 얻어 향후 국내 조건에서 최적의 동결대책 공법이 제시되어야 할 것이다. 앞서 언급한 동결메카니즘 분석과 연계를 통해 다양한 동결공법의 검토가 이루어져야 하며 적정한 방안을 제시해야 한다.

메카니즘 분석과 피해사례 조사를 통하여 터널설계기준과 시방서에 터널 동결 검토방법 및 대책공법 수립에 대한 내용과 시공방안과 품질관리 방안도 제시되어야 할 것이다. 향후 유지관리를 위한 매뉴얼도 작성되어야 할 것이다.

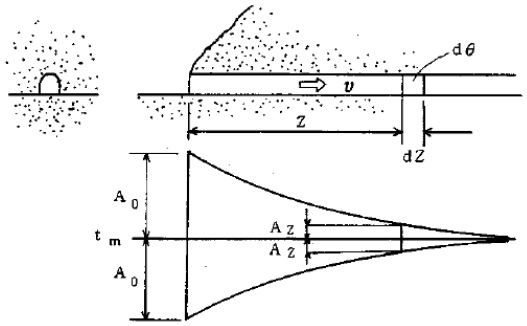
동결메카니즘 분석	⇨	동결피해사례조사	⇨	설계 및 시공기준 제정	⇨	유지보수 매뉴얼
-동결발생 인자 파악 -동결발생 조건 분석 -단열재 설계조건 제시 (열전도율, 열용량) -계측기 설치계획	⇨	-영향인자별 조사 -터널별 사례조사 -동결발생범위 분석 -동결발생영역 분석	⇨	-동결관련 설계기준 (대책공법, 재질 및 두께, 범위선정) -동결관련 시공기준 (품질관리 방안 포함)	⇨	-유지보수 방안 정립 -기존터널 단열재 시공 및 유지보수

<그림 3.61> 동결피해 방지시스템 구축절차

(2) 터널 동결피해 메카니즘 분석

터널 축방향의 터널내 기온의 변동을 축방향의 열전달, 열전도 등의 상호작용으로 해

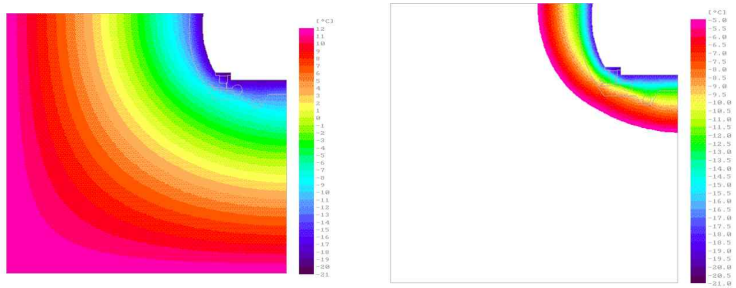
석해서 터널내 기온의 온도감쇄 경향을 통해 터널 연장방향의 동결발생영역을 추정할 수 있다<그림 5.83 참조>.



<그림 3.62> 터널내 유체(공기)의 온도감쇄모델

터널내부에 찬공기가 유입될 경우 터널내부에서 지중에 미치는 영향(동결)을 프로그램을 통해 해석한 사례이다. 대관령지역 일평균, 최고, 최저기온 데이터를 이용하였다. 동절기 지중온도는 약 7 ~ 8m 깊이에서 12℃ 정도 유지하는 조건으로 하였다.

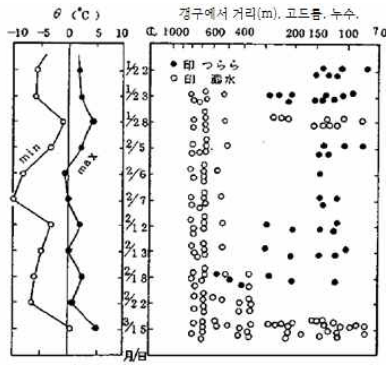
콘크리트, 물, 암반의 열전도율을 이용하여 수치해석을 수행한 결과 그림이다<그림 5.84참조>.



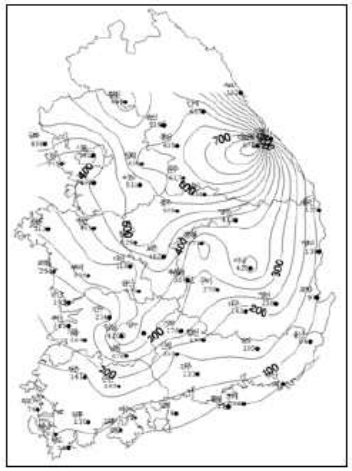
a) 온도프로파일 b) 동결선(0℃) 전파범위

<그림 3.63> 열전도 해석결과

다음은 터널연장 L=2,415m의 터널이며 1980년 누수와 동결상황을 나타낸 그림이다. 그림 우측은 갱구부이며 중앙의 중심선이 터널의 중심이다. 1월 중순에 갱구부에서 300m 부근에서 동결현상이 발생하였으며 1월 28일에는 외기온도 상승과 동반하여 누수가 터널내 누수가 발생하였다.



<그림 3.64> 터널 누수와 동결의 발생상황



<그림 3.65> 동결지수도

(3) 터널 동결피해 사례조사

국내 터널에 대한 동결피해 사례에 대한 광범위하고 체계적인 조사가 필요할 것으로 판단된다. 국내 기상자료와 동결심도 및 관련 자료를 통해 동결피해 대상 지역을 선정하고 장기간에 걸쳐 온도변화에 따른 동결피해 사례를 면밀하게 조사할 필요가 있다.

이미 동결피해가 확인된 터널의 경우에는 효과적인 동결피해 대책 수립하고 동결피해가 예상되는 지역에서의 터널 건설의 경우에는 동결피해 방지를 위한 사전조사와 관련된 설계와 시공에 대한 내용을 수록하여 동결피해를 미연에 방지해야 한다.

동결피해 여부 파악을 위한 일련된 조사자료를 준비하여 누수가 발생한 부분에 대한 명확한 판단과 함께 결과를 반영해야 한다.

라. 동결피해 대책 제안

터널의 동결현상 및 동결방지대책에 대한 피해사례조사, 동결방지 대한 조사결과 등을 요약하면 다음과 같다.

1) 한랭지에 건설된 터널은 동결로 인한 균열, 측압발생 및 압출, 고드름, 도로 노면에서의 포장체의 동상 등으로 인해 구조물 손상이 발생할 수 있으며 특히 콘크리트라이닝 배면에 누수가 발생하게 되면 동결로 인해 체적 팽창으로 균열 등의 구조물의 손상이 발생하고 누수의 규모가 클 경우에는 터널내 고드름이 발생하여 차량의 운행에 장애가 발생하기도 한다.
2) 따라서, 터널에 대한 동결현상 발생 가능성에 대한 평가와 이에 대한 대책 수립이 반드시 필요할 것으로 판단된다.
3) 국내 터널에 대한 동결피해 사례조사 결과, 한국도로공사의 경우 터널별 동결지수, 동결기간, 계획고, 터널방향, 발생현황에 대해서도 조사하여 상관관계를 분석한 결과 결빙피해를 입은 터널은 수정동결지수 700℃·일 이상에서 발생하였고, 일조량이 적은 구간에 위치한 곳에서 주로 발생한 것으로 조사되었다. 동결피해 범위는 터널 입구부에서 50 ~ 250m구간인 약 200m 구간에서 주로 발생하였다. 터널의 동결피해 대책공법은 누수방지와 단열공법 등이 주로 적용되고 있는 것으로 조사되었다. 국내의 경우에는 일부 고속도로 터널의 경우에 단열재를 설치한 것으로 파악되었으나 두께 및 그 효과에 대해서는 아직 알려진 바가 없다.
4) 일본의 경우 터널에 대한 동결피해 조사가 면밀하게 이루어지고 유지관리되고 있는 것으로 조사되었다. 콘크리트라이닝 배면의 동결과 융해로 인해 콘크리트라이닝 구조물에 균열 및 탈락 등의 내구성에 악영향을 미치게 되어 균열, 누수, 변형의 원인이 되고 있는 것으로 파악되었다.
   특히 북해도 지방정비국에서는 일부 극한지역의 산악터널에 대해서는 표고, 동결기간 등을 고려하여 갱구 부근에 단열공법을 적용하도록 설계지침에 제시하고 있다. 이때 단열공법은 숏크리트와 콘크리트라이닝 사이 또는 콘크리트라이닝의 내측에 단열재를 설치하도록 하고 있으며 단열재의 설치연장은 외기온의 영향을 가장 받기 쉬운 갱구로부터 200m까지 적용하는 사례가 많은 것으로 조사되었다.
6) 따라서, 국내 터널 동결현상에 대한 현황조사가 우선적으로 실시되어야 하며 동결현상을 일으키는 메카니즘을 파악하고 이에 적합한 설계기준과 시방기준 제시가 필요할 것으로 파악되었다.
7) 국내의 기술 및 시공여건을 고려하여 적정한 동결대책 방지를 수립하므로써 구조물의 동결피해방지를 통해 구조물의 장기적인 내구성을 향상시켜 유지관리비 절감 등을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

제 6 절 사면분야 동결피해 저감 방안

1. 개요

도로나 철도공사에서 땅깎기와 흙쌓기 등의 토공에서 비탈면으로는 안정성을 유지 해야한다. 이와 같은 경우에 설치되는 비탈면은 그 목적에 적합하여야 함은 물론이고 안전하고 경제적이어야 한다. 또한 충분한 조사와 적절한 설계 및 시공을 실시하고 설치 후에는 적절한 유지관리를 실시하여 안정성을 유지하는 것이 중요하다.

기존의 비탈면의 설계와 시공은 실적이 풍부하여 구조물에 문제 발생시 즉각적으로 조치가 가능하였으나, 한랭지에 건설된 비탈면은 동상에 대한 피해사례나 대책공법은 없는 실정이다.

한랭지에 건설된 비탈면은 영하로 내려갈 경우 법면에 동결현상이 발생하게 되며 비탈면 주변지반의 동결, 동상에 의해 사면표층이 약체화와, 사면보호공에 변형이 발생하고 융설수의 침투 혹은 배면 지하수의 영향에 의해 심한 경우 붕괴가 발생되기도 한다.

본 설계기준 검토에서는 국내외 비탈면의 동상을 고려한 설계기준을 검토하고 동결피해 사례분석을 통한 대책공법을 수립하여 한랭지에 건설된 비탈면의 동상에 대한 안정성을 확보하고자 한다.

2. 설계기준 조사

국내의 설계기준 조사에서는 '건설공사 비탈면 설계기준(2011)'과 '건설공사 비탈면 표준시방서(2011)'의 내용 중, 깍기와 쌓기 및 배수구조물에 대한 기준을 조사하였으나, 국내 비탈면 설계와 관련된 기준은 동결에 대한 부분을 기술하고 있지 않은 것으로 조사되었다.

3. 동결피해 사례

가. 사면 붕괴의 메카니즘

(1) 한랭지 사면에서의 붕괴 시기

적설이나 동결이 보이는 한랭지의 사면에서는, 이른 겨울이나 융설기에 다량의 지하수 침투에 의해, 또 엄동기에는 사면의 빙결과 절리 중에 발생한 빙주에 의한 수압 혹은 암

반 내 온도응력의 발생에 의해, 파괴가 발생하는 예가 있다.

융설기에는, 다량의 지하수 침투에 의한 간극수압의 발생이나, 동결해 있던 표층부가 융해하여 강도가 저하함으로써, 사면에서는 표층붕괴·암반붕괴·낙석 등이 발생하기 쉽다. 이러한 재해에 대한 대책으로서는 통상적으로 사면붕괴나 낙석대책에 준하여, 지표배수공·지하배수공이나 사면 보호공 등이 실시되고 있다.

또 엄동기에는, 암반사면이 눈으로 덮여있지 않든지, 암반이 이상 저온이나 극한 기온 변화에 노출되면 동결작용이 일어난다. 동결이란, 암체 내의 간극수나 암반사면 내 균열부에 충진되어 있는 지하수가 빙결하는 것을 말하며, 암반 사면의 표면을 0°C이하로 연속해서 냉각하면, 먼저 표면이 빙결하고, 시간의 경과와 함께 동결은 미동결부로 향하여 진행한다. 간극율이 큰 지반이 포화하든지, 함수비가 큰 경우나, 균열 중에 지하수가 있는 경우는 동결하기 쉽다. 균열 중에 빙결이 있으면, 그 팽창압으로 균열이 신장하고, 지하수 배출이 방해를 받으면 배후에 수압이 작용하여 파괴가 발생하기도 한다.

한편 함수비가 낮을지라도, 한랭지에서는 연간을 통한 암체의 열변형이 크기 때문에, 사면에 평행한 주상절리와 같은 미소균열이 존재하면, 주상 암체의 표면과 심부의 온도차에 의한 열변형이 발생하고, 응력부식으로 균열첨단의 개구 신장이 완만하게 진행되어, 사면 붕괴에 연결되는 경우도 있다.

더 나아가서는, 동절기를 통해 기온이 0°C상하로 변동하면, 암반의 동결융해가 발생하여 풍화가 촉진되고, 강도저하가 발생하여, 붕괴에 연결되기도 한다.

나. 동결·융해가 암반 강도에 미치는 영향

(1) 동결이 암반강도에 미치는 영향

균열이 없는 암석이, 0°C이하의 저온에서 지속적으로 동결되는 경우, 암석의 강도는 자연상태보다 오히려 증가한다. 저온에서의 암석특성을 조사한 결과에 의하면, 저온상태에서의 암석의 역학적 특성은 함수비 조건에 따라 차이가 있지만, 강도는 암종에 상관없이 저온화에 따라 증가 경향이 있고, 특히 함수포화상태에서는 강도(일축압축강도, 인장압렬강도)의 큰 증가가 확인되었다. 그 가운데에서도, 간극율이 큰 응회암이나 사암에서는 함수포화상태에서, -10°C에서는 상온의 2~4배의 강도 증가가 확인되었다.

(2) 동결·융해의 반복이 암석 강도에 미치는 영향

균열이 없는 암석을 동결융해시험을 실시하면, 암석의 강도는 저하한다. 특히 화강암이나 안산암보다도, 간극율이 큰 응회암과 같은 암석에서는 30회 이하의 적은 횟수에 의해 파괴하는 경우가 많다.

동결융해시험은, 소정의 온도범위에서 동결융해를 반복하여, 그것에 따른 암석의 역학적 특성을 조사하는 것으로, 아래의 데이터는 -30°C 또는 -45°C까지의 범위에서 0.2~0.4°C/min의 비교적 천천히 온도 변화를 설정하여, 동결융해를 반복한 결과이다. 그림5.5.2(a)는 함수포화상태에서 동결융해를 반복한 경우의 일축압축강도와 반복회수의 관계를 나타낸 것이다. 간극율이 작고, 일축압축강도가 큰 화강암이나 안산암에서는 50회 이상의 반복에 의한 강도저하는 작지만, 그 이상의 반복을 실시한 경우에는 반복회수가 증가함에 따라 서서히 강도가 저하한다. 한편, 간극율이 크고 일축압축강도가 작은 응회암에서는 30회이하의 적은 반복 횟수의 동결융해에도 파괴에 이르는 경우가 많았다. 슬레킹을 일으키기 쉬운 공극이 많은 연암이, 이에 상당하는 것으로 판단된다. 한편, 그림은, 건조상태에서 화강암의 동결융해시험을 실시한 결과이지만, 함수포화상태와 마찬가지로, 많은 횟수의 반복에 의해, 서서히 일축압축강도가 저하하는 경향을 보인다.

다. 암반사면에서의 동결융해 작용

자연상태의 암반사면에 동결·융해가 미치는 횟수와 깊이는, 다음과 같다.

계절 변동으로서는 겨울에 1회, 암체의 최대동결심도까지 동결·융해가 작용하고, 일 변동에서는 암체 내의 온도변동진폭이 암반의 깊이 수10cm까지 감쇄해 버리기 때문에 표층부만이 동결·융해를 반복하게 된다.

계절 변동에 의한 동결 깊이로서 토양의 동결 깊이 추정법을 적용하면, 암체 표면온도의근사치로서 기온을 이용하면, 최대동결깊이 d(cm)는, 동절기0°C이하 온도의 적산치(동결지수Id(°C·days))로부터 아래의 식이 구해진다.

$$D = \alpha \cdot \sqrt{Id}$$

여기서, α : 암체 동결시의 열전도율에 의존하는 계수로 통상은 3.0~4.0이다.

동결지수는, 일 평균기온이 연속해서 0°C이하가 되는 최초 일부터, 연속해서 0°C이상이 되는 전일까지의 기간에 있어서, 0°C이하의 기온과 시간과의 곱을 누계한 것으로 °C·days로 나타낸다. 또 0°C이하의 기온 1개월마다의 월평균기온으로 적산하여 구하는 경우도 있다. 동결지수는 지반의 동결심도의 산정에 이용되지만, 같은 장소일지라도, 해에 따라 그 값이 다르기 때문에, 동상대책을 목적으로 할 때에는 과거 10년간의 절대치의 최대치, 혹은 과거 30년간의 절대치 중 최대치 3개의 평균치를 취하는 등으로 결정한다.

동결심도는 냉각된 지표면으로부터 사면 내의 0°C 등온면까지의 깊이를 말한다. 암반사면에서의 동결심도에 관하여 계측된 사례는 적지만, 북해도에서 특히 한랭한 지역인 층운협(표고 700m : 연간 일 평균기온이 4월중순~10월이 영상, 11월~4월 중순 영하)에서

최대 150cm36), 해안부근의 Toyohama(연간 일 평균기온이 3월말~12월초가 영상, 12월초~3월말이 영하)에서 50~60cm로 관측되어 있어, 비교적 암반사면의 표층부분에 한정된다. 이와 같이 암반표면으로부터의 동결융해작용만으로는 깊은 심도의 암반붕괴가 발생할 가능성은 낮다.

낮은 기온에서 암체 심부까지 동결해있는 경우에는, 하기에 암반표면온도가 상승하여도, 심부까지 완전히 융해하는 것은 늦기 때문에, 심부에 동결 존이 잔존하고, 암반표면과 내부와의 온도 구배가 크게 되기 때문에, 암반 내부에 온도응력이 발생한다. 주상절리와 같은 절벽면에 평행한 잠재균열을 가지는 암체에서는, 이것에 수반된 열변형이 발생하여, 균열 선단부에서 응력부식균열이 신장하여, 사면의 붕괴로 연결될 수가 있다.

일 변동에 의한 동결융해가 발생하기 위해서는, 0°C를 끼고 상하로 기온이 변화할 뿐만 아니라, 어느 온도 이하까지 냉각되고, 어느 온도 이상까지 데워질 필요가 있으므로, Fukuda(1988)의 응회암을 이용한 동결융해실험결과에 의하면, -4°C이하까지 냉각하고, +4°C까지 온도가 상승하여 융해되는 것과 같은 온도변동이 파괴의 기준이라고 하고 있다.

단, 암석의 온도 확산율을 고려했을 때는 표층부에서 +4°C부터 -4°C까지 온도변화를 부여하여도, 온도 확산율을 0.004(cm/s)라 하면, 30cm깊이에서는 온도의 변동폭은 ±1°C 이내에 감쇄하고 있기 때문에, 균열이 없는 암석 내부의 유효 공극이 함수하고 있는 경우의 동결융해의 피쇄작용은, 표층부로부터 수10cm까지 밖에 지나지 않는다. 게다가 엄동기에는 암체로의 수분 공급은 한정되고, 융해기에만 적설융해수로 암체는 젖은 상태가 되어, 동결융해의 영향을 받는다. 이들을 고려하면, 함수비가 높은 다공질응회암으로 구성된 암반사면에서는, 신선한 암석이 동결융해의 반복 약 10회~30회에서 강도 저하를 초래하기 때문에, 연간의 동결융해 출현회수 10회 정도의 지역에서는 1년에서 3년의 주기로 표층부의 낙석이나 소붕괴가 발생할 가능성이 있다. 또한 균열이 발달해 있는 암반의 경우는, 사면 표층부 뿐만 아니고, 균열 내면에서의 파쇄작용도 작용한다.

라. 사면의 변동기구와 대책

한냉지 사면에서는, 동결, 동상의 영향(동결심도, 기온, 적설 등), 동결융해의 반복작용을 고려하여, 사면의 구배, 보호공, 대책공의 선정 등을 실시할 필요가 있다.

동결작용은 균열이 없는 암반의 경우에는 강도 증가로 작용하지만, 암반 사면에 균열이 존재하면, 균열 중의 물은 빙결함으로써 체적 팽창이 발생하고, 특히 닫힌 공간에서 얼면 거대한 압력을 발생하여, 이 압력으로 균열 연장부로 인장파괴가 발생할 수가 있다.

즉, 균열이나 절리가 물로 채워져 있으면, 표층부의 물이 먼저 동결함으로써, 밀폐된 형상이 되어, 표층부로부터 균열의 심부를 향하여 점차 얼음이 발달하고, 얼음의 팽창 현상 때문에 균열 연장부로 인장력을 발휘한다. 예를 들면, 각력응회암의 경우, 평균 압렬인장강도가 0.39MPa(4kgf/cm2),얼음의 동상압은 1MPa(10kgf/cm2)정도이기 때문에, 균열부에서 0.2~0.4MPa(2~4kgf/cm2)정도의 동상압으로 암의 인장파괴가 발생될 수 있다고 한다. 또 암반 표층부가 빙결한 경우에는, 배수계통을 차단하여, 소량일지라도 지층경계(층리면)을 따라서의 지하수 침투류가 있는 경우에는, 지반 내부의 침투수가 배출되지 않기 때문에, 사면 내부의 수압이 상승하여, 인장 균열부에서는 수평방향의 수압이, 또 슬라이딩 면에서는 간극수압이 작용하여 사면의 붕괴로 연결될 수 있다고 한다. 이들에 대해서는, 균열 내부의 지하수나 지반 내부의 침투수를 배제하는 것이 유효하다. 이 때 배수 보링으로 지하수 배제를 실시할 때에는, 배수공 출구에서 얼음이 성장하는 것을 방지하고, 공 막힘이 발생하지 않도록 할 필요가 있으므로, 배수 파이프 주변에, 짚, 톱밥, 자갈, 발포 스치로풀과 같은 단열물질의 사용이나 전기에 의한 보온을 고려하면 좋다.

흙이 동결하는 과정에서, 흙 속에 발생한 빙정의 성장에 의해, 냉각면을 향해 흙의 체적이 팽창하는 동상작용이 있지만, 암석에서도 이암, 혈암과 같은 이질연암은 동상할 수가 있다. 동성 시, 팽창압이 사면 대책공의 록볼트나 앵커에 작용함과 동시에, 이들 금속물질이 냉각될 때의 열수축도 있어, 사면 보강재에는 과도한 긴장력이 발생한다. 이들에 의해 보강재 부착 부분에서의 전단 파괴에 의한 빠짐이나 보강재의 인장 파단 등이 발생한 예도 있다. 사면 대책공의 설계에서는, 사면 안정상 필요한 강도에 더해, 동상압력도 고려한 필요가 있다.

동결융해에 의한 파쇄작용은 균열이 적은 암반에서는 암체 심부까지 미치기 어렵지만, 수직으로 깎아 지른 듯한 암반 사면에서는, 규모와 상관없이, 일반적으로 절벽면에 평행한 이완성 균열이 존재하고 있다. 그러한 균열의 최상부 개구부의 폭이나, 균열 깊이에 따라서는 함수상태가 되어, 암체 표면뿐만 아니라 균열 내면에서도 동결융해가 작용하고, 반복됨에 따라, 균열 내면에서도 파쇄작용은 진행되기 쉽고, 암체 전체를 연약화시킬 가능성이 있다. 동결융해가 암반붕괴의 원인이 된 사례는, 그 원인 조사가 곤란하기 때문에 사례로서는 적지만, 동절기의 붕괴 사례나 적설한냉지역에서 일반적인 이른 봄 융설기의 낙석·소붕괴가 많다. 동결융해의 지표로서, 최저기온 0°C미만의 일수(겨울날의 일수)가 있다. 겨울날의 일수가 90(년간의 1/4)에 주목하면, 북해도, 동북지방의 대부분 및 그 외 지반의 산악지역이 이에 해당하고 있고, 서일본에서도 산간부에서는 동결융해작용을 무시할 수 없다. 또, 적설기와 동절기에는 낙석이나 붕괴가 감소하는 경향이 있지만, 이는 눈의 층이 블랭킷(Blanket)이 되어, 강우가 사면으로 침투하는 것을 막고, 빙점하의 기온

이 사면 내 자유수의 영향을 감소시키기 때문이라고 판단된다.

동결융해의 대책으로서는, 암반 중에 침투수를 들어 가지 않도록 사면 표면을 밀착성이 있는 보호공으로 덮든지, 균열부를 봉인하는 것이다. 사면 보호공을 두껍게 하여, 비교적 강도가 있는 숏크리트가 몰탈보다 좋고, 철근을 넣는 경우도 있다. 지표수의 침투를 방지할 수 없는 격자공은 한랭지의 동결융해대책으로서 적합하지 않다.

마. 사면 동결피해 사례

도로나 하천 및 조성지 등의 구축에 따른 절토사면은, 동절기의 동결현상이나 동결융해작용, 특히 이른봄 융설수의 영향을 받아 붕괴를 일으킬 수가 있다. 북해도에서의 조사에 의하면, 절토사면의 붕괴 가운데, 전체의 약 40%가 동상현상이나 동결융해에 의해 발생하고 있다는 보고도 있어, 충분한 대책공의 검토가 필요하다.



<사진 3.66> 경량 격자공의 변상 사례



<사진 3.67> 콘크리트제 격자공의 변상 사례



<사진 3.68> 동상에 의해 들어올려진 격자



<사진 3.69> 융설수의 영향으로 붕괴된 사면



<사진 3.70> 융설수의 영향으로 붕괴된 사면



<사진 3.71> 소단의 동상 피해



<사진 3.72> 융설·동결융해에 기인한 사면 붕괴



<사진 3.73> 소사면붕괴와 함께 잔도파괴된 도로 측구

4. 동결피해 대책공법

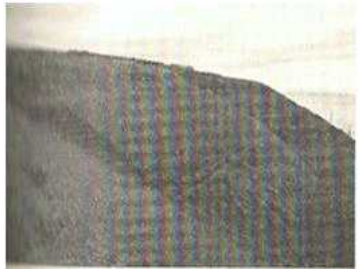
가. 게비온 공법

「게비온공」은, 일반적으로 법면에 사용하는 경우<그림 3.74>과 같은 형태로 설치하는 사례가 많다. 게비온 각각은 철선으로 연결되어 있고, 또 앵커핀(동결깊이를 고려하여 1m의 길이)을 타설하여 어긋나지 않도록 하고 있다. 또 구조적으로 동상 및 융해에 의한 법면 상하의 움직임에 따라가도록 되어 있기 때문에, 기능이 손상되는 것은 없고, 더 나아가 봄의 법면을 따라 흘러내리는 융설수나 지반으로부터 침출하는 지하수를 유효하게 처리할 수 있기 때문에, 예로부터 유지관리 측면에서 국소적인 동토피해개소에 적용되고 있고, 빈도도 높고 유효성도 높은 공법이다.

최근까지 게비온에 식생은 곤란하다는 것이 일반적이었지만, <그림 3.74>, <그림 3.75>과 같이, 게비온 상부 철망 안에 장지공을 이중으로 한 것을 끼워 넣어 식생에 성공한 시공 예가 있어, 경관이나 환경면에서도 배려할 수 있는 공법이 되고 있다.

이것은, 지면이 상하에 오도록 중첩시키기 때문에, 아래 지면이 저면에 있기 때문에 흙

이 유출하지 않는 구조로 되어 있어, 장지이 뿌리를 내릴 때까지의 보수 및 영양을 보급하는 상태가 되어 있다고 생각되어진다.



<그림 3.74> 특수게비온의 장지공의 예1 (시공후 4년 경과)



<그림 3.75> 특수게비온의 장지공의 예 2 (시공후 2년 경과)

나. 프리케스트 프레임공법

「프리케스트 프레임공」은, 법면의 토질에 따라 동상량이 커지면, 콘크리트 프레임공 자체의 손상이나 변형이 눈에 띄기 때문에 적용 시에는 충분한 검토가 필요하다. 또, 이 프레임공을 고정하기 위해 타설하는 앵커핀이 얕으면, <그림 3.76>와 같이 동착동상력이 작용하여 뽑혀져 손상되는 경우도 있기 때문에 길이에 관해서는 현지의 동결 깊이를 감안하지 않으면 안 된다.

이 공법과 유사한 경량의 강재 법면 프레임공에 관해서는 동상 피해사례가 많아, 지하수 침출이 많은 절토사면에 적용할 시에는 주의를 필요로 한다.

동일한 토질 조건일지라도 지하수 공급이 있는 곳과 그렇지 않는 곳에서는 동상현상에 의한 법면의 상태가 크게 다르다. 따라서 법면으로 지하수 공급이 있는 경우나 함수비가 높은 지반에서는, 미리 충분한 배수대책의 검토를 행할 필요가 있다. 또, 이들과 병행하여, 식생이나 적설에 의한 단열효과를 기대하여, 절토법면 구배를 1 : 1.5로 하는 사례도 있다.



<그림 3.76> 앵커핀의 동착동상

제 7 절 옹벽분야 동결피해 저감 방안

1. 개요

도로나 철도공사에서 땅깎기와 흙쌓기 등의 토공에서 지형과 용지제약에 의해 비탈면으로는 안정성을 유지할 수 없는 경우가 많다. 이와 같은 경우에 설치되는 옹벽은 그 목적에 적합하여야 함은 물론이고 안전하고 경제적이어야 한다. 또한 충분한 조사와 적절한 설계 및 시공을 실시하고 설치 후에는 적절한 유지관리를 실시하여 안정성을 유지하는 것이 중요하다.

기존의 옹벽 설계와 시공은 실적이 풍부하여 구조물에 문제 발생시 즉각적으로 조치가 가능하였으나, 한랭지에 건설된 옹벽구조물의 동상에 대한 피해사례나 대책공법은 없는 실정이다.

한랭지에 건설된 옹벽은 배면토가 영하로 내려갈 경우 동결현상이 발생하게 되며 옹벽 주변지반 지하수의 동결은 동절기 옹벽 배수 장애의 원인이 되고 구조물에 큰 동상압이 발생하여 심한 경우 붕괴가 발생되기도 한다.

본 설계기준 검토에서는 국내외 옹벽구조물의 동상을 고려한 설계기준을 검토하고 동결피해 사례분석을 통한 대책공법을 수립하여 한랭지에 건설된 옹벽구조물의 동상에 대한 안정성을 확보하고자 한다.

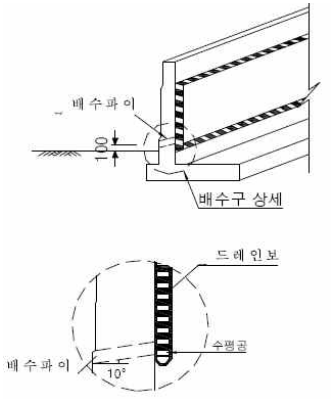
2. 설계기준 조사

가. 동결관련 국내 설계기준 검토

(1) 도로설계편람 제3편 토공 및 배수(2012. 04)

(가) 드레인보드 설치 배수공

옹벽 배면에 드레인보드(Drain Board 폴리스틸렌 일면배수재)를 부착시키고 부직포로 드레인보드를 덮은 후 양질의 토사로 되메우는 방법이다. 이는 배면토압의 증가를 억제하고 뒤채움부 토사의 동상과 동결에 따른 수축팽창을 방지할 수 있다. 옹벽배면에 설치되는 배수용 드레인보드의 품질기준은 [건설공사비탈면 표준시방서, 국토해양부, 2011]에서 제시하는 품질 이상이어야 하며, 필터재로 사용되는 토목섬유는 품질기준을 만족하여야 한다.(4.6절 배수공(P 307-32))



<그림 3.77> 드레인보드 설치배수공

보강토옹벽의 안정성을 증진시키기 위해 기초지반의 지지력과 침하정도, 동상성, 침식성 등을 고려하여 어느 정도의 벽체 묻힘깊이를 고려하는 것이 좋다. 벽체 묻힘깊이로는 다음 표의 값이 추천된다.(5.2.2절의 설계안전율(P307-44))

<표 3.78> 벽체 묻힘깊이의 추천값

벽체 전면지반의 경사	최소 묻힘깊이(m)
수평 (옹벽)	H/20
수평 (교대)	H/10
3H : 1V	H/10
2H : 1V	H/7
3H : 2V	H/5

(2) 벽면재의 기초공

전면벽체는 기초지반내로 최소 0.5m이상 근입되어야 한다. 경사지반의 경우에는 0.6m 이상이 되어야 하며, 벽체전면에 폭 1.2m 이상의 소단을 설치한다. 한편, 기초지반이 동상피해가 예상되는 경우에는 동결심도 이상 근입시킨다.(5.5 설계·시공상의 주의점 (P307-57))

(3) 철도설계기준 노반편(2011)

옹벽 저판의 설치깊이는 동결심도 이상이어야 하며 동결심도가 얕은 지반이라 하더라도 지표면 아래로 최소한 1m 이상의 깊이에 설치해야 한다.

보강토옹벽은 최소 0.5m 또는 동결심도 이상의 근입깊이를 확보해야 한다.(⑥ 보강토옹벽 적용기준 (P 6-30))

(4) 구조물 기초 설계기준 해설(2009. 03)

옹벽 저판은 동결심도 아래에 설치되는 것이 원칙이며 동결심도가 얕은 지반이라 하더라도 지표면 아래로 최소한 1m 이상의 깊이에 설치해야 한다.(6.3 옹벽의 안정조건(P)482)

보강토옹벽은 채움흙의 흘러내림, 우수의 침투와 동결 등에 의한 흙의 이완을 방지하기 위하여 콘크리트, 금속재, PVC, 토목섬유 등의 전면판 또는 전면 보호재로 보호되어야 한다.(6.6.4 보강토 옹벽 (P 506))

(5) 한국도로공사 보강토옹벽 설계기준 (2007. 12)

전면벽체는 기초지반내로 최소 0.3m 이상 근입되어야 한다. 경사지반의 경우에는 0.6m 이상이 되어야 하며, 기초지반이 동상피해가 예상되는 경우는 동결심도 이상 근입시켜야 한다.

나. 동결관련 해외 설계기준 검토

(1) 일본 국토교통성 북해도개발국 도로설계요령, 제 7장 옹벽 (2012)

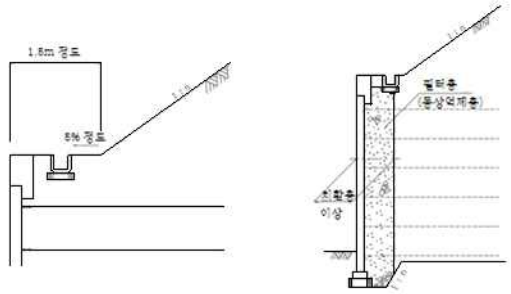
7.7 기초공

(1) 직접기초의 근입심도는 원칙적으로 0.5m 이상, 기초하면의 동결영향을 고려하여 심도를 설계기간 10년의 치환두께 이상을 적용하여야 한다.

(2) 동상피해를 방지하기 위해 기초하면 동결영향깊이 이상 근입할 필요가 있다. 동결영향 근입심도는 실측치와 경험적 방법으로 제안한 식에서 기온자료를 구해 동결지수를 참고하여 결정한다. 도내 표준치는 0.5~1.1m 정도이다.

7.11 보강토옹벽

(1) 벽체 상단부 표면수 배제를 위하여 그림과 같이 배수공 설치를 표준으로 한다. 성토체에 침투수를 배수시키고 동결시 벽면재 손상을 방지하기 위해 벽면재 배면에 치환두께 이상으로 자갈 등 필터층(동상억제층)을 설치한다.



<그림 3.79> 표면배수공과 배면 동상억제대책

다. 동결관련 설계기준 분석결과

국내 설계기준 분석결과 각 기관별로 옹벽이 설치되는 기초지반의 동상에 대한 처리방법이 기술되어 있으나, 모두 동결심도를 고려하여 그 깊이 이상으로 근입하도록만 명시되어 있고 구체적인 동결에 대한 설계기준은 없음을 알 수 있다.

다만, 도로설계편람에서는 뒤채움부 토사의 동상과 동결에 따른 수축팽창을 방지하기 위해 옹벽배면에 배수용 드레인보드를 설치하여 동결피해에 대한 대책을 제시하고 있다.

해외(일본) 설계기준 분석결과 옹벽에 대해서는 기초공에서 국내기준과 비슷하게 동결심도 이상으로 근입하도록 명시되어 있으며, 실측치와 경험식으로 구한 기온자료를 참고로 하여 동결지수를 산정하도록 비교적 구체적으로 제시되어 있다.

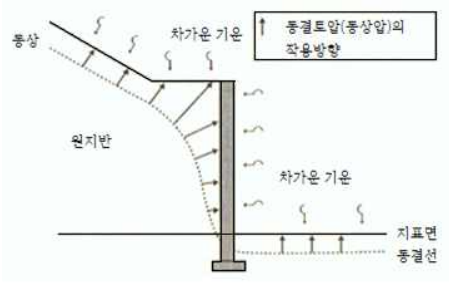
북해도 도로설계요령에서는 보강토 옹벽에 대해서 배면에 치환두께 이상으로 동상억제층을 포설하도록 명시하고 있다.

3. 동결피해 사례

가. 옹벽 동상피해 메카니즘

콘크리트 옹벽이나 보강토 옹벽은 수직 혹은 1 : 0.5전후의 상태로 설치되며, 벽면부는 동절기 적설에 의한 단열효과를 기대할 수 없어 대부분의 경우 한기에 노출되어 있는 조건이 된다.

따라서, 배면토가 동상성이고 여기에 물에 관한 조건이 갖추어지면 <그림 3.119>와 같이, 벽면으로부터 진행하는 동결에 의해 동결토압(동상압)이 작용하고 최악의 경우는 <그림 3.80>에 나타낸 바와 같은 동상피해가 발생한다.



<그림 3.80> 옹벽의 동상피해 메카니즘



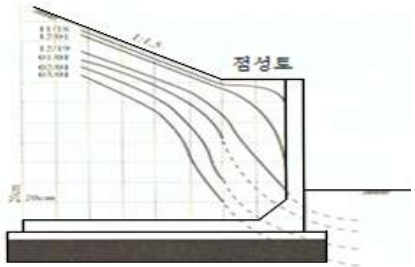
<그림 3.81> 강토옹벽의 동상피해

나. 옹벽 동상피해 사례

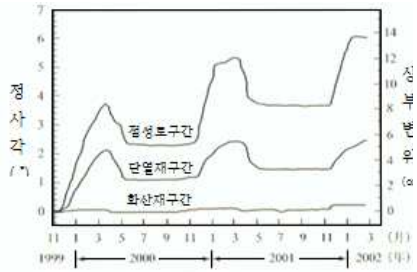
국내 옹벽의 동상에 의한 피해사례는 아직까지 보고된 자료가 없으므로 해외(일본) 동상피해 사례 위주로 기술하였다.

(1) 콘크리트 역L형 옹벽(일본)

옹벽 배면의 성토가 동결하여 옹벽에 변형을 초래하는 경우가 있다. 기설 콘크리트 L형 옹벽을 실외에 설치하여 검토한 연구에 의하면 옹벽 배면에 상부성토가 존재하는 경우 옹벽면과 성토사면으로부터 동결이 진행되어 옹벽배면의 동결선은 <그림 3.81>처럼 옹벽에 대해 각도를 가지고 형성된다.



<그림 3.82> 옹벽 배면에서의 동결면의 진행



<그림 3.83> 동상에 의한 L형옹벽 벽면 변위

동상이 발생하는 경우 동결선의 형상이 옹벽면의 경사에 가까울수록 동토압이 옹벽에 크게 작용하게 된다. 이 실험에서는 동상성 재료인 점성토를 이용한 경우에 옹벽의 경사가 변위하고 있다. <그림 3.82> 동시에 옹벽 배면에 단열재를 시공한 경우에서는 경사량(변위량)이 작아지고 있다.

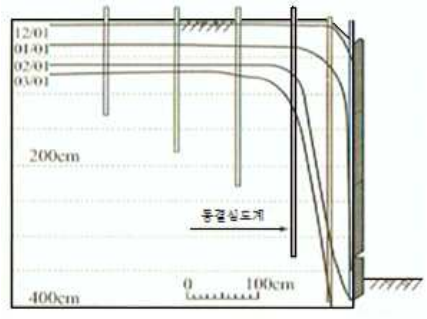
흙의 동상압은 극히 커서 이를 고려하여 옹벽을 설계하는 것은 비경제적으로 현실적으로 곤란하다. 그러나, 일단 변형이 발생하면 그 후의 대책은 많은 노력과 시간을 요한다. 특히 지형적으로 지하수가 들어올 것 같은 곳에서는 옹벽의 동상대책으로서 배면토에 비동상성 토사를 이용하는 것이 확실한 방법이다.

(2) 보강토 옹벽 동상피해 사례(일본)

시험적으로 설치한 다수 앵커식 보강토 옹벽을 사용하여 동결· 동상이 어떻게 발생하는가를 실험적으로 검토하였다. 수직으로 설치된 벽면재와 수평 성토 표면이라고 하는 단면 조건의 계측에서는 동절기 한기의 영향에 의해 벽면재 표면과 성토 표면에서 동결선이 평행으로 침입하여 동결선은 역L자형으로 발생하였다<그림 3.83>.

따라서 벽면재 배면의 흙이 동상성이면 벽면재를 바깥측으로 밀어내려는 동상압이 발생하게 된다. 이 실험에서는 토압(동상압 또는 동상토압)을 계측하여 점성토에서 최대 40kPa의 동상압이 발생하였다. 동상압은 일평균기온이 0°C를 하향함과 동시에 발생하기 시작해 피크는 한파의 피크와 거의 일치하였다.

지하수가 공급되는 조건에서는 실시하지 않았기 때문에 측정된 동상압은 작은 값으로 측정되었다고 판단된다. 동상성을 가지는 배면토에 지하수가 공급되었다면 보강토 옹벽에는 보다 심각한 동상 피해가 발생했을 것이라 판단된다.



<그림 3.84> 다수앵커식 보강토옹벽(점성토)에서의 동결선의 진행

실제 보강토 옹벽의 피해사례는 일본 장야현의 시도에서 시공완료후 동절기 동상에 의해 보강재 연결부에 과도한 응력이 작용하여 전면벽체와 띠형 보강재 연결부 파단 및 전면벽체가 탈락한 사례가 있다<그림 3.84>.

좀처럼 없는 사례이지만 시멘트 고화재로 개량된 흙을 재료로 한 대상(帶狀)금속재에 의한 보강토 옹벽에서 벽면재의 탈락이 보고된 사례가 있다. 이 현상은 벽면에 가까운 개량토가 오랜 기간에 걸쳐 열화되고 한기에 의해 열화된 개량토가 동결하여 일부 보강재와 벽면재의 결합부를 파손시켰다고 추측되었다. 이러한 경우의 대책으로서는 동결범위를 비동상성 재료로 치환하는 것이 확실한 방법이다.

(3) 앵커식 옹벽 동상피해 사례 (일본)

사면 표층부에서 동상이 발생하면 앵커로 지반의 변위를 억제하고 있기 때문에 지압부분에는 커다란 동상력이 작용한다. 북해도 동부의 도로 사면에서 강봉의 앵커가 파단되어 튀어나온 사례가 보고된 바 있다.

계측결과 300kn이상의 동상력이 앵커에 작용한 것으로 나타났다. 이 현장조건에서는 대략 75kN/m2의 동상압이 작용한 것으로 판단된다. 완전히 변위를 구속한 실내동상실험에서는 300~1,500kN/m2의 동상압이 계측되어 현장계측과는 수배의 격차가 있지만 토질 및 구속상태의 차이로 판단된다.

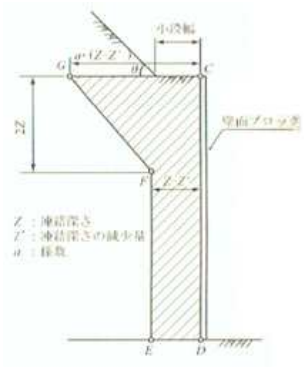
그라운드 앵커에 과잉의 동상력이 작용하면 최악의 경우 앵커의 파단 등 피해가 발생한다. 이러한 현상에 대한 대책으로서는 적당한 공법이 없는 것이 현실이다. 향후 동상에 의한 표층지반 변위의 반복을 흡수할 수 있는 앵커의 개발이 필요할 것으로 기대된다.

4. 동결피해 대책공법

가. 치환공법

(1) 옹벽의 치환범위 결정방법

옹벽의 치환 두께에 관해서는 <그림 3.85>에 나타낸 높이 3m의 보강토 옹벽에 의한 실외 실험 결과로부터 치환범위의 결정방법은 다음과 같은 순서로 제안된다.



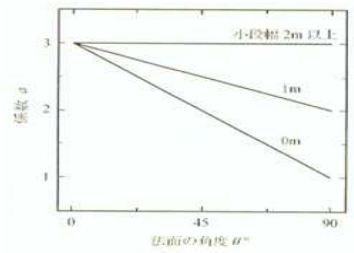
<그림 3.85> 옹벽에서의 치환범위 결정방법

(가) <그림 3.125>로부터 소단의 폭과 법면의 각도로부터 계수 a를 구한다.

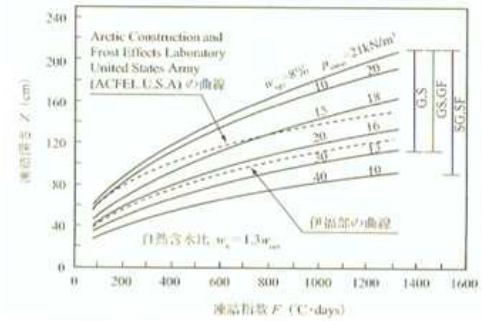
(나) <그림 3.126>에 적응하는 옹벽배면의 성토재(또는 복토재)의 최대건조밀도 ρdmax와 최적함수비 wopt로부터 현지의 동결지수에 대응하는 동결깊이 Z(cm)를 구한다.

(다) <그림 3.127>에 대응하는 옹벽배면의 성토재(또는 복토재)의 최대건조밀도 ρdmax와 최적함수비 wopt로부터 동결깊이 감소량 Z'(cm)를 구한다.

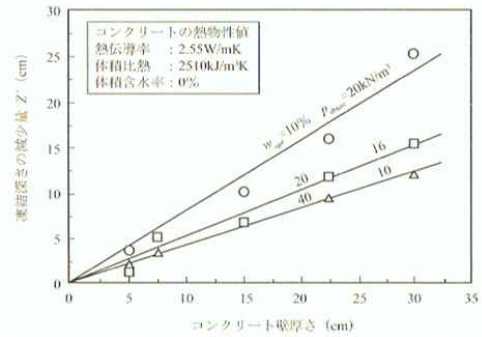
(라) <그림 3.128>의 GC간 = a x (Z-Z'), F점 = 2Z, ED간 = Z-Z'를 구해 치환범위를 결정한다.



<그림 3.86> 법면각도와 계수 a관계



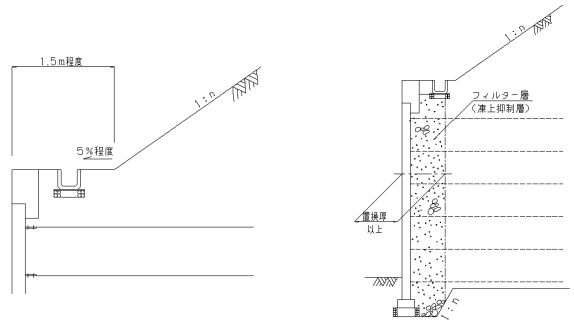
<그림 3.87> 동결지수 F와 동결깊이 Z의 관계



<그림 3.88> 벽 두께와 동결깊이의 감소량 Z'의 관계

(2) 북해도개발국의 동상대책공법 (치환공법)

보강토 옹벽의 동상대책에 관해서는 북해도개발국에서도 <그림 3.88>에 나타낸 동상대책공이 기준화되어 있다. 기준에 의하면 벽 배면 치환두께는「치환두께 이상」으로 제시되어 있지만 이론 최대 동결깊이의 70%(=도로본선의 치환두께) 이상을 말한다.



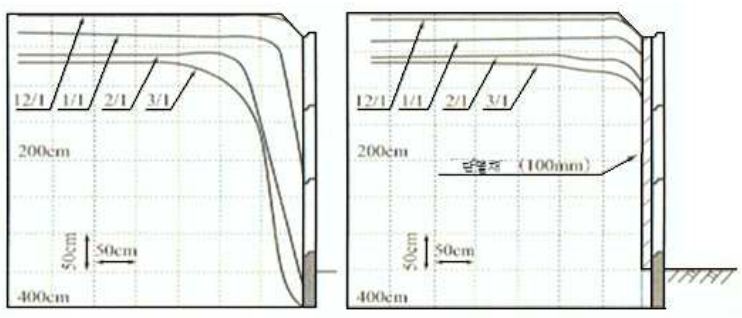
<그림 3.89> 보강토옹벽 배면의 동상대책 사례(북해도 개발국)

실제로는 시공상의 편의 때문에 배면 치환두께에 관해서는 치환두께가 1.0m를 넘지 않는 곳에서는 일률적으로 1.0m로 시공하는 경우가 많다.

나. 단열공법

치환공법 이외에도 <그림 3.90>에 콘크리트벽 배면에 판상의 단열재를 설치한 경우(b)와 설치하지 않은 경우 (a)의 동절기 동결선의 추이를 비교한 실외실험결과를 분석하였다.

단열재가 벽 배면토의 동결을 억지하고 있어 동결선의 형상으로부터 단열재를 설치한 경우에는 동결토압(동상압)이 옹벽 상부에만 작용하고 있어 벽면에 대한 동상 방지대책으로서 단열공법도 충분히 효과가 기대되는 것으로 보고되고 있다.



<그림 3.90> 옹벽배면의 동결선의 추이

다. 동결피해 방지를 위한 인프라시스템

(1). 동상관련 설계기준 개선방향

(가) 지금까지 한랭지역에 설치되는 옹벽구조물의 동상관련 설계기준과 피해사례, 대책공법 등에 대해서 논의하였다.

(나) 국내에서의 동상관련 옹벽설계기준은 기초지반에 동결심도 이상(대부분 1.0m) 기초저판을 설치하는 방법외에는 없는 것으로 분석되었다.

(다) 해외(일본)의 경우에는 국내 기준과 유사하지만 구체적인 방법이 제시되어 있고, 북해도개발국에서는 설계기준상에 옹벽배면에 치환두께 이상을 설치할 것을 명시하였다.

(라) 국내 옹벽구조물의 피해사례는 대부분 집중강우에 의한 침투수가 배면에 침투하여 수압이 크게 증가하여 붕괴한 사례가 대부분이고 동상에 의한 피해사례는 현재까지 보고된 바가 없는 실정이다.

(마) 일본의 사례를 참조하면 실험을 통해서 대부분 동상대책공법의 효과가 어느정도 입증되었고 이를 바탕으로 동상관련 기준이나 공법을 적용하는 추세인 것으로 판단된다.

(바) 국내에서도 동상관련 설계기준을 개정하려면 일단 한랭지(강원도 등) 지역을 선정하고 실험용 옹벽구조물을 구축한후 배면에 동결면 추이나 온도 등을 계측하여 기준개정의 방향을 설정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

(사) 또한, 동상이 발생하면 배면의 동토압(동상압, 동결팽창압)이 상당히 큰 힘으로 작용하므로 동상압을 고려하여 설계하면 비경제적인 단면으로 되므로 신중하게 접근하여야 할 것으로 판단된다.

(아) 향후 한랭지역에서의 실험용 옹벽구조물을 설치하여 보다 진전된 연구를 수행함으로써 동상대책공법인 치환공법이나 단열공법 등을 국내에서의 적용성에 대해 구체적인 기준 등을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

제 8 절 기초 분야 동결피해 저감 방안

1. 개요

깊은 기초를 비롯하여 얕은 기초는 동결심도 이하의 땅속에 시공하기 때문에 동상에 의해 큰 문제가 발생하지 않는 것으로 알려져 있으며 땅 속에 가려져 있기 때문에 문제가 발생해도 그 문제점을 발견하기 쉽지 않다.

하지만 공동주택과 같이 대규모 구조물의 경우 굴착 후 장시간 노출된 경우에는 동상을 받을 수 있는 조건이 되며 기초를 시공하는 과정에서 콘크리트가 동해를 입을 수 있는 가능성이 있으므로 이러한 문제 사례들과 대책에 대해 논하고자 한다.

2. 설계기준 조사

가. 동결심도

(1) 일본의 건물에 대한 동결심도

동결심도는 지중온도가 0℃가 되는 위치까지 지표에서의 깊이로서 정의 되고 기온 등 기상조건이 토질 및 급수에 의해 지배된다. 적설도 일종의 단열재의 역할을 하므로 동결심도가 큰 영향을 받는다. 동결심도를 구하는 것에는 실측에 의한 것이나 다음식으로 개략치를 추정할 수 있다.

$$Z = C\sqrt{F}$$

여기서, Z는 동결심도(cm), F는 동결지수(℃일), C는 계수

같은 시군구내에서도 장소에 의해 온도가 다르므로 경험적으로 이것보다도 깊은 기초가 시공되는 경우도 있다. 또한 건축물에 대한 동결심도와 급수관리매설용 동결심도는 다르다. 후자의 경우 도로아래 매설되는 지표가 제설되면 아스팔트포장 및 쇄석시공에 의해서 지표부근의 함수률이 작아지는 것 등의 이유로 동결심도가 다르게 된다. 급수관의 경우 동상이외에 동결도 고려할 필요가 있기 때문에 지반의 동상성이 없어도 동결심도보다 깊게 매설할 필요가 있다. 일본의 대표적 한랭지인 홋카이도에서 건물에 대한 동결심도 및 급수관매설깊이 예를 <표 3.23>에 나타낸다.

<표 3.23> 건물에 대한 동결심도 및 급수관 매설깊이

도시명	건물에 애한 동결심도*1 (cm)	급수관 매설심도*2 (도로, cm)
삿포로	60	120
아사히카와	60~100	140
하꼬다데	50	120
오비히로	100	150(보통), 180(모래자갈, 사질)
기타미	100(모래자갈), 120(화산재)	150

*1 : 주택금융공고 : 목조주택공사공통 시방서(홋카이도판)
*2 : 일본수도협회 홋카이도지방지부 : 한랭지의 급수장치설계·시공지침

나. 국내 동결심도의 변화

최근 국내의 경우는 지구온난화의 영향으로 겨울철 평균 온도가 상승하고 있어 동결에 의해 피해가 감소하고 있다고 보고되고 있다. 이러한 현상을 반영하여 국토해양부(2012년 9월 14일)는 “도로 동상방지층 설계지침”을 제정하였다.

당 내용 중 설계동결심도를 구하는 방법은 다음과 같다.

ㄱ) 동결지수 및 동결기간 축소 (2.2 설계동결지수)

① 지점별 동결지수 및 동결기간이 축소(당초 30년 기상자료 중 추위가 가장 심하였던 3년치의 평균값에서 20년 기상자료 중 추위가 가장심하였던 2년치의 평균값으로 변경)

ㄴ) 설계동결깊이 (2.3 설계동결깊이)

① 한국형 동결깊이 예측식 : $Z = C\sqrt{F}$

* Z:설계동결깊이(mm), F:설계동결지수(℃・일),
C:동결지수에 따른 보정상수

설계동결지수(F) (℃·일)	0이상 100미만	100이상 200미만	200이상 300미만	300이상 400미만	400이상 500미만	500이상 600미만
C값	27.3	30.2	35.6	42.1	48.1	53

② 설계동결깊이는 최대동결깊이의 75%를 적용 : 설계동결깊이=0.75×Z

ㄷ) 동상방지층 설치 여부 판정기준(제3장)

① 흙쌓기 높이를 고려한 설치기준(3.2절)

- 2m 이상 흙쌓기 구간에서 동상방지층 생략

② 지하수위를 고려한 설치기준(3.3절)

- 동결면으로부터 물이 공급되는 지하수위의 높이차가 1.5m 이상인 경우에는 동상

방지층 생략

③ 노상토 특성을 고려한 설치기준(3.4절)

- 0.08mm 통과율이 8% 이하일 경우 동상방지층 생략

3. 동결피해 사례

가. 건축물과 지반의 동결

우리나라 보다 훨씬 북쪽에 위치한 홋카이도를 포함한 일본의 건축기본법 시행령에서 “건축물의 근입 깊이(기초의 깊이)는 매트기초에서 12 cm이상, 연속기초에서는 24 cm이상으로 하고 동시에 동결심도보다도 깊은 것으로 하고, 기타 동상방지를 위한 유효한 조치를 강구할 것”으로 정하고 있다. 따라서 동상현상이 일반적으로 인식되고 있는 홋카이도와 같은 한랭지에서는 주택 자체가 동상피해를 받는 것이 아니다. 펜스의 동상 피해를 <그림 3.91>에 나타내고 있다.



<그림 3.91> 동상에 의한 펜스의 변형

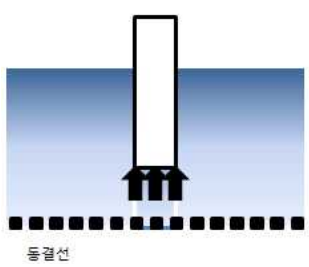
건축물의 동상 형태로서는 <그림 3.92~95>에 나타낸 다음의 4종류가 있다.

건물의 기초저부가 동결심도보다 위에 있기 때문에 바로 밑에서 위로 밀치고 올라오는 동상

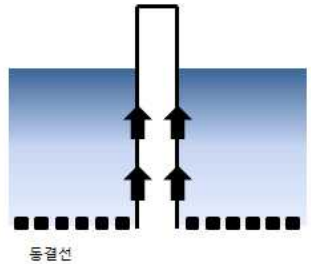
기초저면은 동결심도보다 아래 있지만 동상이 기초측면에서 얼어붙어 지반의 동상과 동시에 위로 밀고 올라오는 동착동상

기초에 직접콘크리트가 접하고 있고 이 콘크리트 아래 흙에서 동상이 발생하고 직접콘크리트의 동상과 동시에 기초도 위로 올라오는 접촉동상

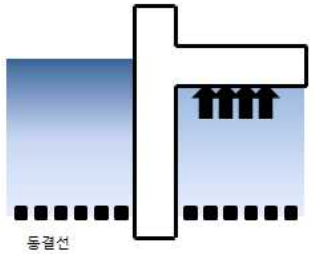
기초의 한쪽면이 대기에 노출되어(옹벽), 그 배면토가 얼어 위로 또는 수평방향으로 밀어넘어뜨리는 측면동압



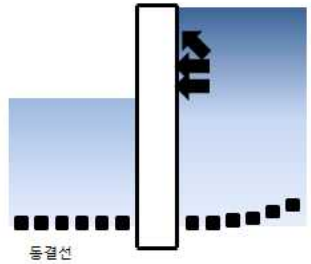
<그림 3.92> 동상



<그림 3.93> 동착동상



<그림 3.94> 접촉동상



<그림 3.95> 측면동압

흙이 동결하면 반드시 동상이 일어난다는 것은 아니다. 그러나 건축물의 경우에는 도로 등에 비해 보다 안전측으로 고려하고 동결심도를 기준으로 동상에 대하는 기초심도를 결정하고 있다.

이렇게 하는 것이 건축과 지반동결에 관한 문제로서는 급수관 등 매설배관의 동상피해 및 동결피해가 있다. 각지자체의 수도국은 공공도로 하부, 주택지내 등 장소마다 급수관의 매설심도를 지도하고 있다.

4. 동결피해 대책공법

가. 기초 및 건축물에서의 동상방지

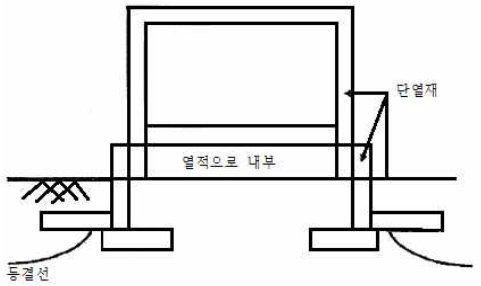
건물의 기초동상방지는 건축기준법 시행령에 정하고 있는 것처럼 기초의 깊이를 동결심도보다 깊게 시공하는 것이 기본이다. 후술하는 단열공법을 이용한 경우에도 단열에 의해 얕게된 동결심도를 기준으로 그 보다 더 깊게 기초를 시공한다.

또한, 서술한 동상 중에서 동착동상을 방지하기 위해서는 기초주변의 복토를 동착성이 작은 모래자갈 등으로 교환하고 동시에 배수를 양호하게 하는 것이 유효하다. 접촉동상

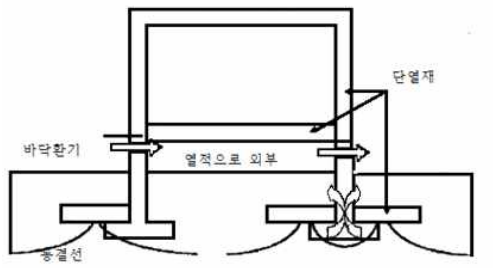
은 현관입구나 주차장입구 등의 건물에 접촉하고 있는 직접콘크리트의 동상에 의해서 발생하므로 그 직접콘크리트아래를 동상성이 없는 모래자갈 등으로 교체한다. 현관입구의 직접콘크리트와 지표면 사이에 공간을 두고 건물의 기초와 직접콘크리트의 연결을 자르는 등의 대책이 있다. 측면동압의 경우에는 상부밖에 측면에서 동결이 진행하므로 옹벽배면에 동상성이 없게 배수가 양호한 모래자갈 등으로 교체할 필요가 있다. 이러한 동착동상~측면동압의 동상에 대해서도 단열공법을 이용하면 모래자갈 등으로 교환범위를 대폭 감소할 수 있다.

(1) 지반단열에 의한 동상방지

동결심도가 깊은 지역에서는 다량의 잔토처리 및 굴착 시 주변에 대한 배려가 필요로 하고 기초공사에 많은 비용이 든다. 이 때문에 북유럽 및 북미에서는 지반을 단열하여 동결심도를 저감하려는 연구가 행해지고 있다.



<그림 3.96> 지반단열에 의한 동상방지



※ 기초주변을 단열해도 기초콘크리트를 따라서 열이 빠져나가기 때문에 그다지 효과가 없다.

<그림 3.97> 바닥단열에 적합한 지반단열

건축물의 지반단열에 의한 동상방지는 <그림 3.96>에 나타난 것처럼 건물의 단열효과

도 포함해서 기초부면을 확실하게 단열재로 덮어 기초주변의 지반 온도저하를 방지한다. 따라서 건물이 난방되는 온도가 높게 보호되면 건물 단열성능이 낮아도 동상방지효과가 얻어지지만, 난방하지 않는 경우에는 기초주변만이 아니라 건물의 단열성능이 중요하게 된다. <그림 3.97> 우측에 나타난 기초와 같이 기초의 양측을 단열해도 기초의 콘크리트는 열을 전달하기 쉬우므로 기초에서 열이 달아나서 충분한 효과를 얻기 어렵다.

원래 지반단열의 발상은 예전 Lapland(북유럽 지역)에서 시작하였다. 라플란드 주택에서는 벽 외측에 눈을 쌓아올려 단열층으로 하고, 건물의 중간을 따뜻하게 하면 벽은 얼지 않고 동시에 동상에 대한 건물로의 위험은 없는 경험으로부터 알게 되었다고 한다. 지반단열의 연구·개발이 쌓여온 북유럽국가가 최초이며, 1950년대초에는 실험이 시작되고 그 때 연구결과로서 기초의 외측에 단열하면 실내에서 기초, 슬래브를 통해서 지반으로 빠져나가는 열이 동상방지효과가 있다는 것을 얻었다. 그 후 컴퓨터 시뮬레이션으로 기초의 우각부에서 넓게 단열의 필요성이 명확해졌다. 또한 1970년대 초에는 노르웨이에서 많은 연구예산의 도움으로 실험 및 예측방법의 기술향상이 이루어졌다.

지반단열은 1967년 스웨덴 건축기준법 중에 삽입되었고 노르웨이에서는 1973년 핀란드에서는 1978년에 적용되었다. 그 후 100만호 이상의 주책은 북유럽국가에서 건설되었지만, 동상장해가 일어난 사례는 없고 현재에서는 주택은 물론 저층 사무실 건물에서도 이 방법이 일반적으로 적용되고 있다.

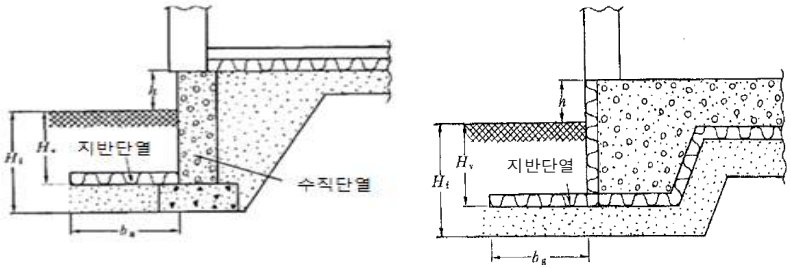
지반단열에 이용되는 단열재는 미국에서는 단열재로의 수분침투에 의한 성능저하가 작은 점을 고려해서 XPS(압축법 발포폴리스틸렌)가 일반적이다. 북유럽에서는 40년 가깝게 XPS 또는 EPS(Beeds법 발포폴리스틸렌)가 사용되고 있다. 노르웨이 공대의 도어교수에 의하면 노르웨이 국내에서는 기본적으로 XPS 또는 Rockwell이 사용 되고 있다고 하고, 방수처리 등의 특별한 단열재 상부의 보호처리는 하지 않고 그 상태로 수중에 매립한다고 한다. 단, Rockwell의 경우에는 공극재료이므로 확실하게 배수가 되도록 단열재 하부에 배수층을 반드시 설치해야한다. 핀란드에서는 단열재의 수분침투에 관한 방호책으로서 당초 단열재 상부에 방습하고 있지만, 그 효과에 관한 실험을 행한 결과, 방습한 쪽이 다소 양호하지만 비용 및 공사방법을 두고 행할 정도로 차이가 나지 않는다는 결론에 달하였다.

(2) ISO 규격

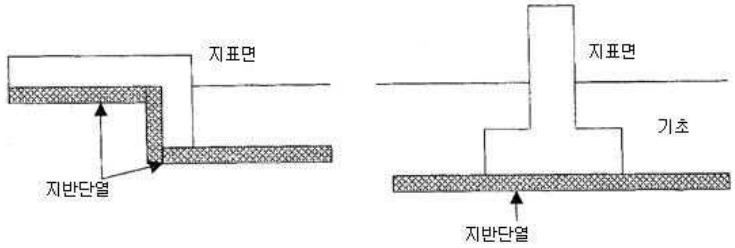
2001년 ISO13793 Thermal performance of buildings-Thermal design of foundations to avoid frost heave가 제정되었다. ISO 규격에서는 건물이 난방 되는 것을 전제로 하고 있다. 우선 기본적인 지반단열방법이 <그림 3.133>와 같이 표시되고, 기초의 우각부 및

일반의 기초벽 부분, 비난방공간의 부위에 대해서 동결지수를 패러미터로서 기초의 깊이(그림 Ht), 단열재의 성능, 지반단열의 폭(그림 bg)이 표시되어 있다. 동계에 온도가 5℃ 이하가 되는 건물의 경우(일본에서는 주택 바닥에 상당)에는 <그림 3.134>와 같이 시방이 나타나고 단열의 폭 등이 같은 사양으로 나타난다. 그러나 이 사양은 단열재에 건물의 하중이 걸리므로 강도 부분에서 일반적으로 채용하는 것은 어렵다고 생각된다.

또한 이러한 그림 이외의 사양이 검토될 수 있도록 규격화 된 수치계산법, 경계조건, 지반의 물성치를 표시하고 있다.



<그림 3.98> 난방을 하는 건물의 지반단열 예(ISO 13793)



<그림 3.99> 난방을 하지 않는 건축물의 지반단열 예(ISO 13793)

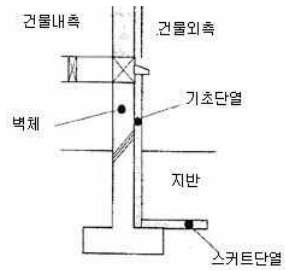
(3) 스커트 단열(skirt thermal insulation)

일본 홋카이도에서는 기초공사에서 잔토처리 및 비용의 저감을 목적으로 기초부근 지반의 동결심도를 저감하는 지반단열 설계방법을 "스커트단열공법, 설계·시공매뉴얼"로서 1997년에 정리하였다. 일본에서 설계방법을 정리하는 사이 이미 ISO 규격안이 발표되었지만, 홋카이도의 주택에 적용하기에는 다음과 같은 과제가 남아 있다. 첫 번째는 <그림 3.99>와 같이 단열치수를 채용하는 경우, ISO안에서는 온도가 5℃이상으로 보호되는 것을 전제로 하고 있다. 홋카이도에서는 매매를 위하여 지은 집이나 빈집에서의 저온도 보호 습관이 없어서 실용적으로 보고 무난방의 경우에도 적용할 수 있는 것을 필요로 하였다. 두 번째는 ISO안에서는 적설이 무시되고 있는 점이다. 적설의 단열효과는 크며, 이것을 무시하면 사설지역에서 지금까지 운용되고 있던 각 시군구의 동결심도도 크게 달라지는 점이 있다. 이러한 것 때문에 홋카이도에서는 스커트 단열공법을 채용하여 홋카이도의 기후특성 및 주택의 단열성능을 근거로 하는 독자 설계자료를 작성하게 되었다.

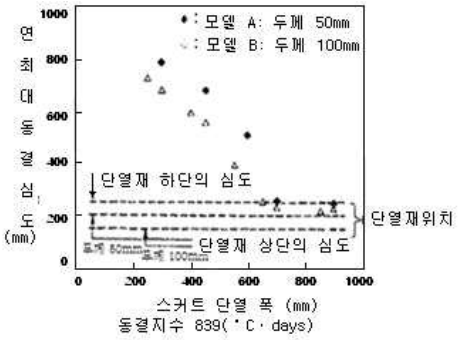
우선 홋카이도에서 가장 추운 지역중 하나인 리꾸베쯔(陸別)마을에서 무난방 시험동(단열성능은 신생에너지기준 수준)으로 실험하여 스커트 단열 효과의 검증과 ISO규격안으로 나타난 시뮬레이션방법(동결잠열을 고려한 삼차원 비정상 열전달계산)을 검증하였다. 이후 신생에너지기준수준 단열성능을 가진 무난방주택을 대상으로 하여 시뮬레이션으로 지역에 따른 시방을 결정하였다.

스커트단열의 폭과 두께 및 동결지수의 최대동결 심도에 미치는 영향을 <그림 3.100>, <그림 3.101>에 나타내었다. 동결지수가 증가하면 그 평방근에 비례하도록 동결심도는 깊게 되었다. 스커트단열의 폭이 넓어지면 동결심도가 얕게 되고 스커트 단열을 설계상에 폭의 설정은 중요한 요소가 되고 있는 것을 알 수 있다. 또한 <그림 3.102>에서 스커트 단열의 두께가 100 mm와 50 mm의 경우에는 동시에 동결심도가 되는 스커트 단열폭에 대략 50 mm, 최대 100 mm 정도의 차이가 있는 것을 알 수 있다. 그러나 통상 단열재의 절단방법은 비율로 고려해서 300, 450, 600, 900 mm가 되는 것에서 단열재 두께를 50 mm에서 100 mm로 증가시켜도 절단 방법이 바뀌지 않을 가능성은 낮다. 이 때문에 간편성을 고려해서 스커트 단열재두께는 50 mm로 고정해서 설계자료를 작성하고 있다.

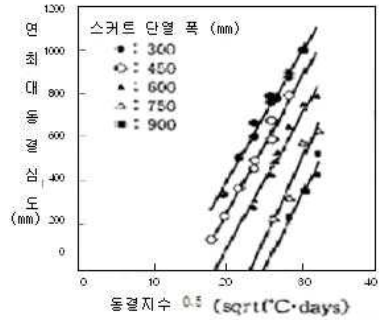
또한, 동결심도는 기온(동결지수)만이 아니라 적설의 영향도 크다. 홋카이도내의 각 시군구 건축물에 대한 동결심도를 조사해 보면 최대적설량이 클수록 동결심도가 얕아지는 경향을 볼 수 있다. 이 동결심도는 약 20년간 주택 기초의 동상에 대한 어떤 문제없이 운용되고 있으므로 적설 등의 기후조건 및 지반의 성질 등의 요소를 포함한 각 지역의 특성에 합치한 것으로 고려할 수 있다.



<그림 3.100> 스커트(치마) 단열

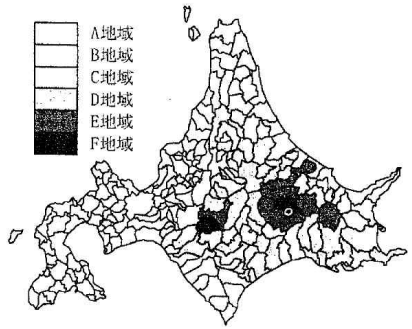


<그림 3.101> 스커트 단열 폭, 두께와 동결심도의 관계



<그림 3.102> 동결지수·스커트단열 폭과 동결심도의 관계

따라서 “스커트 단열공법, 설계·시공 매뉴얼”에서는 동결지수 이외에 다설 지역에서는 적설 효과도 고려하는 것으로서 홋카이도를 <그림 3.103>과 같이 A~F의 6개 지역으로 분류하고 있다. A지역은 가장 온화한 지역이며, 삿포로시를 포함하여 종래 설계용 동결심도가 500~600 mm의 지역이 주를 이루고 있다. 또한 C지역은 설계용 동결심도가 600~800 mm인 지역으로 아사히카와시 등 한랭이지만 적설양도 많은 홋카이도 중앙 지역을 많이 포함 한다. F지역은 가장 한랭한 지역으로 리꾸베쯔 마을 등 2개의 마을이 있다.



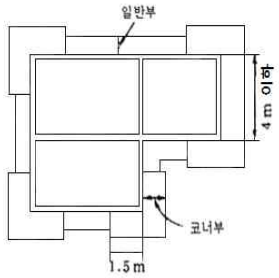
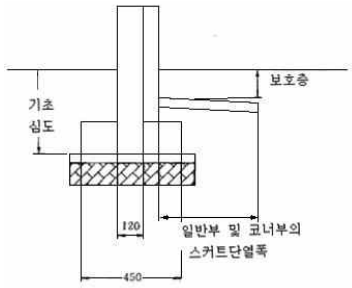
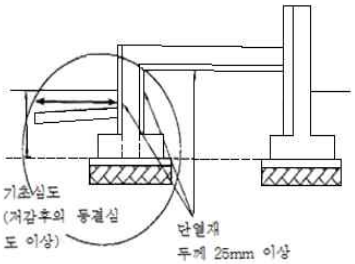
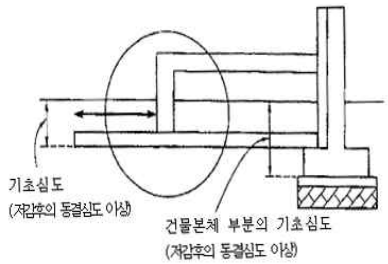
<그림 3.104> 스커트단열 설계를 위한 지역구분 예(일본 홋카이도)

<표 3.24> 스커트단열의 폭을 결정하는 조건표

기초심도 (동결심도) (mm)	적용 부위 구분	스커트단열의 폭, 길이(mm) 지역구분					
		A	B	C	D	E	F
400	①	300	300	450	600	700	
	②	300	450	600	750	900	
	③	450	600	750	900	1050	
250	④	550	700	800	950	1100	
500	①		300	300	400	500	600
	②		300	400	600	750	900
	③		450	600	750	900	1050
450	④		550	700	850	1000	1100
900	①					300	300
	②					450	600
	③					600	750
750	④					750	900

<표 3.24>는 스커트 단열공법을 쉽게 이용하게 하기 위하여 작성되었고, 홋카이도 전역을 대상으로 하는 설계용 조건표를 나타낸다. 스커트 단열의 두께 및 종류에 대해서는 압추법 폴리스틸렌폼 2종, 두께 50 mm 상당이상인 단일 규격으로 하여 보다 간단한 설계방법이 되도록 하였다. 또한, 동일한 건물의 기초에서도 기초의 직선부분과 우각부분 등의 부위에 의해서 또는 단열재의 시공방법에 의해서 동결심도가 다르다. 이 때문에 각 부위와 단열방법에서 기초를 아래의 그림과 같이 ①~④의 적용 부위 구분에 의해 분류하고 각각 적용부위구분에 응한 최적설계가 가능하도록 하고 있다. 적용부위구분 ①은 주택거주부분의 기초 직선부분, 적용부위구분 ②는 주택거주부분의 기초 우각부 등이다. 또한 ③은 현관, 베란다에 적용할 수 있다.

조건표 이외의 기초심도로 하고 싶은 경우에는 특별히 작성된 차트로 설계할 수 있다.

적용 부위	부분명칭 개요	
①	일반부 ②,③,④ (코너부, 현관, 베란다, 차고 등) 이외의 부분	
②	코너부 우각부 부터 1.5m 이내의 부분. 우각 사이의 간격이 4m 이내의 경우에는 그 사이 부분도 코너부로 간주한다.	 (단위 : mm) 기초의 치수는 표준적인 값임
③	현관・베란다(2) 현관과 베란다 부분 (해당부분의 기초 내측에 단열재를 시공하고, 기초판이 열교(heat bridge)가 되는 것)	적용부위 구분③ 
④	본 구조물의 힘을 받지 않는 현관 베란다의 기초 현관, 베란다부에서 2개층 이상의 하중이 걸리지 않는 기초	현관・베란다 적용부위구분 ④ 

제 9 절 설계기준 및 관리방안 제안(안)

본 절에서는 조사 및 분석된 연구결과를 토대로 국내의 각 기준 및 지침들에 대한 변경안을 제안하였다

대상 구조물은 터널, 사면, 옹벽, 기초구조물이며 국내에서 발간되어 사용되고 있는 기준 및 지침별로 정리하여 제안하였다

1. 동결피해 대상 구조물 설계 및 시공기준 변경 제안(안)

가. 도로설계편람 (국토해양부,2010)

-터널-

현 재(2010. 01)	개 정 안(안)	근거 및 참조
제6편 터널 608 배수 및 방수 608.3 배수형 방수형식 터널의 적용 3.2 배수형 방수형식의 세부사항 (1) (*기존내용*) (2) (*기존내용*) (3) (*기존내용*) (4) (*기존내용*) (5) (*기존내용*) (6) (*기존내용*)	제6편 터널 608 배수 및 방수 608.3 배수형 방수형식 터널의 적용 3.2 배수형 방수형식의 세부사항 (1) 좌동 (2) 좌동 (3) 좌동 (4) 좌동 (5) 좌동 (6) 좌동 *(7) 갱구부 등 동결이 우려되는 경우에는 동결 방지대책을 강구하여야 한다.* *동절기 기온이 낮은 산간지역은 갱구부 콘크리트라이닝 배면의 지하수가 동결될 우려가 있다. 이로인해 균열이 발생되고 누수되는 유출수가 동결되어 콘크리트라이닝 표면에 얼음 형태로 형성되면 이용자에게 심리적, 물리적 위험요소로 작용하며, 동결이 전파 진행되면서 콘크리트 라이닝 구조체를 손상시킬 수 있다. 따라서, 한랭지역 등 동결피해가 예상되는 지역에는 동결지수, 동결지속기간 등을 고려하여 동결방지대책을 수립해야 한다.*	·관련내용 없음 ·내용추가 ·향후 한랭지역 선정 후 실험 등을 수행하여 설계 적용을 위한 세부 기준 마련 필요.

-옹벽-

현 재	개 정 안 (안)	근거 및 참조
제3편 토공 및 배수 307 옹벽 307.4 콘크리트 옹벽 4.6 배수공 -드레인보드 설치 배수공 옹벽 배면에 드레인보드(Drain Board 폴리스틸렌일면배수재)를 부착시키고 부직포로 드레인보드를 덮은 후 양질의 토사로 되메우는 방법이다. 이는 배면토압의 증가를 억제하고 뒤채움부 토사의 동상과 동결에 따른 수축팽창을 방지할 수 있다.	제3편 토공 및 배수 307 옹벽 307.4 콘크리트 옹벽 4.6 배수공 -드레인보드 설치 배수공 옹벽 배면에 드레인보드(Drain Board 폴리스틸렌일면배수재)를 부착시키고 부직포로 드레인보드를 덮은 후 양질의 토사로 되메우는 방법이다. 이는 배면토압의 증가를 억제하고 뒤채움부 토사의 동상과 동결에 따른 수축팽창을 방지할 수 있다. *한랭지역 등 동결피해가 예상되는 지역에는 동결지수, 동결지속기간 등을 고려하여 동결방지대책 적용여부를 검토할 수 있다.*	향후 한랭지역 선정후 실험 등을 수행하여 설계적용을 위한 세부기준 마련 필요
3편 토공 및 배수 307 옹벽 307.5 보강토 옹벽 5.5 설계 시공상의 주의점 -벽면재의 기초공 전면벽체는 기초지반내로 최소 0.5m이상 근입되어야 한다.경사지반의 경우에는 0.6m가 되어야 하며, 벽체전면에 폭 1.2m이상의 소단을 설치한다. 한편, 기초지반이 동상피해가 예상되는 경우에는 동결심도 이상 근입시킨다.	3편 토공 및 배수 307 옹벽 307.5 보강토 옹벽 5.5 설계 시공상의 주의점 -벽면재의 기초공 전면벽체는 기초지반내로 최소 0.5m이상 근입되어야 한다.경사지반의 경우에는 0.6m가 되어야 하며, 벽체전면에 폭 1.2m이상의 소단을 설치한다. 한편, 기초지반이 동상피해가 예상되는 경우에는 동결심도 이상 근입시킨다. *동결심도는 그 지역의 동결지수를 산정하여 결정할 수 있으며, 한랭지 등 동결피해가 예상되는 지역에는 옹벽배면에 치환공법이나 단열공법 등의 적용성 여부를 검토하여야 한다.*	동결방지공법인 치환이나 단열공법은 일본에 적용된 사례이므로 적용성 여부를 국내 실정에 맞게 추가 검토하여야함.

나. 터널설계기준 해설 (국토해양부, 2009)

현 재(2009.06)	개 정 안 (안)	근거 및 참조
제 8장 배수 및 방수 8.3 배수방법의 세부 사항 8.3.10 갱구부 등 동결이 우려되는 경우에는 배수 시스템 동결 방지대책을 강구하여야 한다. 【해설】 동절기 기온이 낮은 산간지역은 갱구부 콘크리트라이닝 배면의 지하수가 동결될 우려가 있다. 이로인해 균열이 발생되고 누수되는 유출수가 동결되어 콘크리트라이닝 표면에 얼음 형태로 형성되면 이용자에게 심리적, 물리적 위험요소로 작용하며, 동결이 전과 진행되면서 콘크리트라이닝 구조체를 손상시킬 수 있다. ~~이러한 경우에는 배수시스템이 외기와 노출되는 부위를 차단하고, 보온장치의 설치, 동파방지를 위한 열선의 배선 등을 계획하여 배수시스템의 동결을 방지 한다.~~	제 8장 배수 및 방수 8.3 배수방법의 세부 사항 8.3.10 갱구부 등 동결이 우려되는 경우에는 동결 방지대책을 강구하여야 한다. 【해설】 동절기 기온이 낮은 산간지역은 갱구부 콘크리트라이닝 배면의 지하수가 동결될 우려가 있다. 이로인해 균열이 발생되고 누수되는 유출수가 동결되어 콘크리트라이닝 표면에 얼음 형태로 형성되면 이용자에게 심리적, 물리적 위험요소로 작용하며, 동결이 전과 진행되면서 콘크리트라이닝 구조체를 손상시킬 수 있다. *동절 방지대책을 수립하기 위해서는 동결지수, 표고, 기후조건, 지하수상태, 기후조건, 표고, 풍향, 풍속, 터널연장 등에 대해 조사하여 분석하고 설계기준에서 제시된 조건에서의 동결피해 가능성을 평가하여 적절한 대책공법을 계획하여야 한다.* *신설되는 터널의 경우에는 콘크리트라이닝 사이에 단열재 등을 설치하여 동결피해를 방지할 수 있도록 해야 한다.* *기존터널의 경우에는 외기와 노출되는 부위를 차단하고, 보온장치의 설치, 동파방지를 위한 열선의 배선 등을 계획하여 배수시스템의 동결을 방지한다.*	동결대책 공법 수립을 위한 설계기준 및 설계방법은 추후 상세과제 수행이 요구됨 기존터널과 신설터널에 대한 대책방안을 구분하여 기술할 필요있음

다. 터널표준시방서 (국토해양부, 2009)

현 재(2009.01)	개 정 안 (안)	근거 및 참조
7장 배수 및 방수 1. 일반사항 1.1 배수 및 방수 구분 1.1.1 (*기존내용*) 1.1.2 (*기존내용*) 1.1.3 (*기존내용*)	7장 배수 및 방수 1. 일반사항 1.1 배수 및 방수 구분 1.1.1 좌동 1.1.2 좌동 1.1.3 좌동 *1.1.4 동결방지를 위해 적용한 공법은 기준에 따라 시공해야 하며, 상시 그 기능을 발휘할 수 있어야 한다.*	-관련내용 없음 -터널설계기준과 연계하여 시공부분에도 동결관련 내용을 수록해야 함 향후 동결방지를 위한 단열재 종류 및 시공방법에 대한 기준제시와 품질관리 기준도 제시해야 함

라. 철도설계편람 (국토해양부, 2009)

현 재(2009.01)	개 정 안 (안)	근거 및 참조
제12장 터널 12.8 배수 및 방수 12.8.3 배수방법의 세부 사항 (1) (기존내용) (2) (기존내용) (3) (기존내용) (4) (기존내용) (5) (기존내용) (6) (기존내용) (7) (기존내용) (8) (기존내용) (9) 갱구부 등 동결이 우려되는 경우에는 배수 시스템 동결 방지대책을 강구하여야 한다.	제12장 터널 12.8 배수 및 방수 12.8.3 배수방법의 세부 사항 (1) 좌동 (2) 좌동 (3) 좌동 (4) 좌동 (5) 좌동 (6) 좌동 (7) 좌동 (8) 좌동 (9) 갱구부 등 동결이 우려되는 경우에는 배수 시스템 동결 방지대책을 강구하여야 한다. 동절기 기온이 낮은 산간지역은 갱구부 콘크리트라이닝 배면의 지하수가 동결될 우려가 있다. 이로인해 균열이 발생되고 누수되는 유출수가 동결되어 콘크리트라이닝 표면에 얼음 형태로 형성되면 동결이 전파 진행되면서 콘크리트 라이닝 구조체를 손상시킬 수 있다. 따라서, 한랭지역 등 동결피해가 예상되는 지역에는 동결지수, 동결지속기간 등을 고려하여 동결방지대책을 수립해야 한다.	터널설계기준과 연계하여 구체적인 설계기준 및 대책안에 대해 기술해야 함

마. 철도설계기준 노반편(국토해양부, 2011개정안)

현 재	개 정 안 (안)	근거 및 참조
제 6장 흙막이 구조물 6.5 옹벽, 흙막이벽 및 비탈면보호벽 6.5.1 일반내용 (1) (기존내용) (2) (기존내용) (3) (기존내용) (4) (기존내용) (5) (기존내용) (6) (기존내용) (7) 옹벽의 안정조건	제 6장 흙막이 구조물 6.5 옹벽, 흙막이벽 및 비탈면보호벽 6.5.1 일반내용 (1) 좌동 (2) 좌동. (3) 좌동 (4) 좌동 (5) 좌동 (6) 좌동 (7) 옹벽의 안정조건	동결방지공법인 치환이나 단열공법은 일본에 적용된 사례이므로 적용성 여부를 국내 실정에 맞게 추가 검토하여야 함.

옹벽 저판의설치깊이는 동결심도 이상이어야 하며 동결심도가 얕은 지반이라 하더라도 지표면 아래 최소 1m 이상의 깊이에 설치해야 한다. 6.6 보강토 옹벽 6.6.1 일반사항 ① (기존내용) ② (기존내용) ③ (기존내용) ④ (기존내용) ⑤ (기존내용) ⑥ 보강토옹벽 적용기준 (P 6-30) 보강토옹벽은 최소 0.5m 또는 동결심도 이상의 근입깊이를 확보해야 한다.	옹벽 저판의설치깊이는 동결심도 이상이어야 하며 동결심도가 얕은 지반이라 하더라도 지표면 아래 최소 1m 이상의 깊이에 설치해야 한다. 동결심도는 그 지역의 동결지수를 산정하여 결정할 수 있으며, 한랭지 등 동결피해가 예상되는 지역에는 옹벽배면에 치환공법이나 단열공법 등의 적용성 여부를 검토하여야 한다. 6.6 보강토 옹벽 6.6.1 일반사항 ① 좌동 ② 좌동 ③ 좌동 ④ 좌동 ⑤ 좌동 ⑥ 보강토옹벽 적용기준 (P 6-30) 보강토옹벽은 최소 0.5m 또는 동결심도 이상의 근입깊이를 확보해야 한다. 동결심도는 그 지역의 동결지수를 산정하여 결정할 수 있으며, 한랭지 등 동결피해가 예상되는 지역에는 옹벽배면에 치환공법이나 단열공법 등의 적용성 여부를 검토할 수 있다.	

바. 구조물 기초 설계기준 해설(국토해양부,2009)

현 재	개 정 안 (안)	근거 및 참조
제 6장 옹벽 6.3 옹벽의 안정조건 옹벽 저판은 동결심도 아래에 설치되는 것이 원칙이며 동결심도가 얕은 지반이라 하더라도 지표면 아래로 최소한 1m 이상의 깊이에 설치하여야 한다.	제 6장 옹벽 6.3 옹벽의 안정조건 옹벽 저판은 동결심도 아래에 설치되는 것이 원칙이며 동결심도가 얕은 지반이라 하더라도 지표면 아래로 최소한 1m 이상의 깊이에 설치하여야 한다. *동결심도는 그 지역의 동결지수를 산정하여 결정할 수 있으며, 한랭지 등 동결피해가 예상되는 지역에는 옹벽배면에 치환공법이나 단열공법 등의 적용성 여부를 검토할 수 있다.*	동결방지공법인 치환이나 단열공법은 일본에 적용된 사례이므로 적용성 여부를 국내 실정에 맞게 추가 검토하여야 함.

사. 보강토옹벽 설계기준 (한국도로공사,2007)

현 재	개 정 안 (안)	근거 및 참조
3.설계일반사항 3.2 보강토옹벽 적용기준 (1) (*기존내용*) (2) (*기존내용*) (3) (*기존내용*) (4)전면벽체는 기초지반내로 최소 0.3m 이상 근입되어야 한다. 경사지반의 경우에는 0.6m 이상이 되어야 하며, 기초지반이 동상피해가 예상되는 경우는 동결심도 이상 근입시켜야 한다.	3.설계일반사항 3.2 보강토옹벽 적용기준 (1) 좌동 (2) 좌동 (3) 좌동 (4)전면벽체는 기초지반내로 최소 0.3m 이상 근입되어야 한다. 경사지반의 경우에는 0.6m 이상이 되어야 하며, 기초지반이 동상피해가 예상되는 경우는 동결심도 이상 근입시켜야 한다. *동결심도는 그 지역의 동결지수를 산정하여 결정할 수 있으며, 한랭지 등 동결피해가 예상되는 지역에는 옹벽배면에 치환공법이나 단열공법 등의 적용성 여부를 검토할 수 있다.*	동결방지공법인 치환이나 단열공법은 일본에 적용된 사례이므로 적용성 여부를 국내 실정에 맞게 추가 검토하여야 함.

아. 건설공사 비탈면 설계기준 (국토해양부, 2011)

현 재	개 정 안 (안)	근거 및 참조
제 3장 지반조사 3.5불안정 요인을 갖는 지형·지질 조사 (1) (*기존내용*) (2) (*기존내용*) (3) (*기존내용*) (4) (*기존내용*) (5) (기존내용)	제 3장 지반조사 3.5불안정 요인을 갖는 지형·지질 조사 (1) 좌동 (2) 좌동 (3) 좌동 (4) 좌동 (5) 좌동 *(6) 동결·동상 발생가능에 대한 조사는 겨울철 한냉지역에서 토질 및 동결면으로의 물의 공급이 우려되는 경우에 실시한다.*	동결 및 동상에 대한 인식이 전무한 상황이므로, 추가가 필요.
3.7 성과정리 및 지반특성 평가 3.7.3 지반 특성 평가 (1) (*기존내용*) (2) (*기존내용*) (3) (*기존내용*) (4) (*기존내용*) (5) (기존내용) (6) (*기존내용*) (7) (*기존내용*) (8) (*기존내용*) (9) (*기존내용*) (10) (*기존내용*) (11) (*기존내용*)	3.7 성과정리 및 지반특성 평가 3.7.3 지반 특성 평가 (1) 좌동 (2) 좌동 (3) 좌동 (4) 좌동 (5) 좌동 (6) 좌동 (7) 좌동 (8) 좌동 (9) 좌동 (10) 좌동 (11) 좌동 *(12) 동결·동상에 따른 사면붕괴 및 사면 보호공의 기능 저하가 우려 되는 경우에는 동결에 의한 피해 감소 방안을 마련하여야 한다.*	동결 및 동상에 대한 인식이 전무한 상황이므로, 추가가 필요. (추가)
제 5장 깎기비탈면 설계	제 5장 깎기비탈면 설계	한냉지에서는 동결·동상이 우려되

5.3 깎기비탈면 적용기준 (1) (*기존내용*) (2) 깎기비탈면의 경사는 지반조사 및 시험성과, 시추조사시 코어회수 율(TCR)과 암질지수(RQD), 불연속면의 발달방향과 특성, 풍화정도 등 고려하여 구간별로 안정성 분석을 실시하고 그 결과에 의해서 결정한다, 풍화암이하의 강도를 갖는 비탈면일 경우 5.4절 표준경사 및 소단 기준을 지반분야 책임기술자의 판단에 따라 적용할 수 있다	5.3 깎기비탈면 적용기준 (1) 좌동 (2) 깎기비탈면의 경사는 지반조사 및 시험성과, 시추조사시 코어회수 율(TCR)과 암질지수(RQD), 불연속면의 발달방향과 특성, 풍화정도, *동결지수* 등 고려하여 구간별로 안정성 분석을 실시하고 그 결과에 의해서 결정한다, 풍화암이하의 강도를 갖는 비탈면일 경우 5.4절 표준경사 및 소단 기준을 지반분야 책임기술자의 판단에 따라 적용할 수 있다.	는 경우, 구배를 완화하는 사례가 많아 추가. (동결지수 추가)
5.4 표준경사 및 소단기준 5.4.1 표준경사 (1) (*기존내용*) (2) (*기존내용*)	5.4 표준경사 및 소단기준 5.4.1 표준경사 (1) 좌동 (2) 좌동 *(3) 동결·동상이 우려되는 토사 원지반 깎기 비탈면의 표준경사는 지반분야 책임기술자의 판단에 따라 경사를 완화할 수 있다.*	한냉지에서는 동결·동상이 우려되는 경우, 구조물 좌우 표준경사를 달리하는 사례가 있어 추가. (추가)

자. 구조물 기초 설계기준 (국토해양부, 2008)

현 재	개 정 안 (안)	근거 및 참조
제 2장 설계 일반 2.1 일반사항 2.1.1 구조물 기초는 다음과 같은 조건을 만족하도록 설계하여야 한다. (1) (기존내용) (2) (기존내용) (3) (기존내용) (4) (기존내용) (5) (기존내용) (6) 기초의 깊이는 지반의 동결 깊이보다 깊어야 한다.	제 2장 설계 일반 2.1 일반사항 2.1.1 구조물 기초는 다음과 같은 조건을 만족하도록 설계하여야 한다. (1) 좌동 (2) 좌동 (3) 좌동 (4) 좌동 (5) 좌동 (6) 기초의 깊이는 지반의 동결 깊이보다 깊어야 한다. 동결깊이는 동상방지층 설계지침을 참조한다.	동결깊이의 산정이 '도로동상방지층 설계지침'(2012.9)에 새롭게 제정되어 동상방지 관련 기준에 제안.
2.3 관련조사 2.3.2 지반조사는 예비조사, 본 조사, 추가조사로 구분하며 이들에 대한 구분은 다음과 같으며 세부사항은 제 3장에서 정하는 바를 따른다. (1) (기존내용) (2) 본 조사는 기초 설계 및 시공에 필요한 제반 지반정보를 얻기 위하여 실시하며, 지층구성, 지지력과 침하 및 기초시공에 영향을 주는 범위를 대상으로 한다.	2.3 관련조사 2.3.2 지반조사는 예비조사, 본 조사, 추가조사로 구분하며 이들에 대한 구분은 다음과 같으며 세부사항은 제 3장에서 정하는 바를 따른다. (1) 좌동 (2) 본 조사는 기초 설계 및 시공에 필요한 제반 지반정보를 얻기 위하여 실시하며, 지층구성, 지지력과 침하, 동결 및 기초시공에 영향을 주는 범위를 대상으로 한다.	지반조사시 동결부분 추가

(3) (기존내용)	(3) 좌동	
2.4 기초계획 2.4.2 지반조사 결과를 토대로 기초가 놓이게 될 지반에 대한 지층의 성상과 각 지층별 공학적 특성을 분석하여 상부구조물 하중을 안전하게 지지할 수 있는 지층을 파악한다.	2.4 기초계획 2.4.2 지반조사 결과를 토대로 기초가 놓이게 될 지반에 대한 지층의 성상과 각 지층별 공학적 특성 및 동결피해 여부를 분석하여 상부구조물 하중을 안전하게 지지할 수 있는 지층을 파악한다.	지반조사시 동결 상부분 추가

2. 동결피해 대상 구조물 손상평가방안 및 관리방안 제안(안)

가. 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (한국시설안전공단 2010.12)

(1) 2장 터널편 개정(안)

터널의 일반적인 정밀안전진단 항목 및 방법					
현 재			변 경		근거 및 참조
점검부위	진단항목	검사방법			
터널내부	○ 균열조사 -위치, 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성 여부 등	초음파 검사법 균열 측정기 육안조사 등	○ 균열조사 -위치, 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성 여부 등 *(동결피해의 경우 갱구부 200m 이내에 대한 집중조사)*	초음파 검사법 균열측정기 육안조사 등	*-동결피해사례조사 결과 터널 갱구부 200m이내에서 주로 발생하였음 (터널 동결피해 가이드라인 1.3 참조)*
	○ Joint부 조사 (조적식 라이닝) -위치, 크기, 진행성, Seal재 열화 등	육안조사 균열측정기 등	*좌 동*	*좌동*	
	○ 누수조사 -위치, 누수량, 탁도, 수질 등	적외선 탐사법 육안조사 등	○ 누수조사 -위치, 누수량, 탁도, 수질 등 *-동결피해와의 연관성 여부 조사*	적외선 탐사법 육안조사 등	*-누수와 동결은 반복해서 주로 발생(터널 동결피해 가이드라인 1.3 참조)*
	○ 콘크리트라이닝 -콘크리트 두께 조사 -콘크리트 강도 -철근배근 탐사 및 철근부식도 측정 -열화조사 · 파손 및 손상, 박리, 충분리 및 박락, 백태, 철근노출 -탄산화 및 염화물 함유량조사	탄산화 시험 레이다 탐사법 충격 탄성파 시험 염화물함유량 시험 표면 타격법 코아채취 시험 초음파 속도 육안조사 등	*좌 동*	*좌 동*	

	○ 내부결함 탐사 -공동 및 공극 조사 - 강지보공 조사, - 설치간격, 규격 등	레이다 탐사법 내시경 조사 육안조사 등	*좌 동*	*좌 동*	
	○ 터널 계측 - 내공변위, 단면측량, 라이닝 응력측정, - 변형률측정	광파 측량기, 내공변위계 등	*좌 동*	*좌 동*	
	○ 지반상태 -풍화정도, 일축압축강도, R.Q.D	사주조사 육안조사 등	*좌 동*	*좌 동*	
	○ 배수. 공동구상태 조사 -배수상태 -퇴적물 상태 -뚜껑파손 상태	육안조사 내시경 조사 등	○ 배수. 공동구상태조사 -배수상태 -퇴적물 상태 -뚜껑파손 상태 *-겨울철 배수구 동결여부 조사*	육안조사 내시경 조사 등	*-겨울철 배수구 동결상태 확인을 위해 필요시 카메라 촬영 가능(터널 동결피해 가이드라인 1.2 참조)*
	○ 진동 및 소음 상태	진동 및 소음 측정기 등	*좌 동*	*좌 동*	
	○ 기타조사	육안조사 등	*좌 동*	*좌 동*	
터널외부	○균열조사 - 위치, 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성 여부	초음파 검사법 균열 측정기 육안조사 등	○균열조사 - 위치, 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성여부 *-동결로 인한 균열발생 여부 조사*	초음파 검사법 균열 측정기 육안조사 등	*-터널 동결로 인해 고드름, 균열, 측빙 등의 피해가 발생할 수 있음 (터널 동결피해 가이드라인 1.1참조)*
	○ 누수조사 - 위치, 누수량, 탁도, 수질 등	수질 검사 육안조사 등	○ 누수조사 -위치, 누수량, 탁도, 수질 등 *-동결피해와의 연관성 여부 조사*	수질 검사 육안조사 등	*-누수와 동결은 반복해서 주로 발생(터널 동결피해 가이드라인 1.3 참조)*
	○ 콘크리트 강도 - 반발경도 시험, - 일축압축강도	반발 경도법 코아채취시험	*좌 동*	*좌 동*	
	○ 터널주변 조사 - 지표 및 지질조사 - 사면 조사 - 토지이용조건	보링조사 육안조사 등	*좌 동*	*좌 동*	
	○ 기타 조사		*좌 동*	*좌 동*	
기타	- 표지판 여부 - 퇴적물 상태 - 안전 및 유지관리 계획여부, 청소상태 - 시설물 이력카드 작성 여부 및 보수이력 확인 - 진동 및 소음상태		*좌 동*	*좌 동*	

상태평가 기준

터널의 기본 시설물과 부대시설물의 종류				
현 재		변 경		근거 및 참조
기본시설물	부대시설물	기본시설물	부대시설물	
○본선라이닝	○연직갱 및 경사갱	○본선라이닝	○연직갱 및 경사갱	
○갱문	○환기구	○갱문, 갱구부	○환기구	터널 동결피해와 상관성이 높은 터널 갱문 및 갱구부의 누수, 고드름, 균열 등에 대해 세부 조사 필요(터널 동결피해 가이드라인 1.1 참조)
○개착터널	○피난연락갱	○개착터널	○피난연락갱	
○지하차도	○연결터널 (환기시설)	○지하차도	○연결터널 (환기시설)	
○지하정거장	○갱구부옹벽	○지하정거장	○갱구부옹벽	

터널 상태평가 항목				
현 재			변 경	근거 및 참조
구분		평 가 항 목	평가항목	
터널상태 평가	라이닝 상태	○균 열 ○누 수 ○파손 및 손상 ○ 재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 베료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)	○균 열 ○누 수 ○파손 및 손상 ○재질열화(박리, 층분리 및 박락, 백태, 베료분리, 철근노출, 탄산화, 염화물)	
	터널 주변 상태	○배수상태 ○지반상태 ○갱문상태 ○공동구상태 ○특수조건 : 도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널 ((추가점수 부여)	○배수상태 ○지반상태 ○갱문, 갱구부 상태 ○공동구상태 ○특수조건 : 도심지 토사터널, 전력구터널, 전차선을 설치한 터널 ((추가점수 부여)	터널 동결피해와 상관성이 높은 터널 갱문 및 갱구부의 누수, 고드름, 균열 등에 대해 세부 조사 필요(터널 동결피해 가이드라인 1.1 참조)

(2) 11장 옹벽편 개정(안)

사전 조사			
현 재		변 경	근거 및 참조
점검사항	검토내용	검토내용	
기초 자료조사 및 검토	-과업지시서 -지반조사 현황 및 결과분석 -지반분류 현황 및 평가 -지반 및 재료 특성치 조사와 적정성 평가 -기타 옹벽과 관련된 모든 자료 조사 및 분석	좌 동 -기타 옹벽과 관련된 모든 자료 조사 및 분석 (한랭지역인 경우 동결지속기간, 동결심도 등 조사)	-동결피해는 한랭지역에서 발생되기 때문임 (옹벽구조물 동결피해 방지 가이드라인 3.1 일반사항 참조)
해석방법 및 결과분석	-사용프로그램 확인 -해석용 입력자료 분석평가 -보조공법의 유무 및 적정성 검토	좌 동	
설계도면 검토	-옹벽의 단면계획 검토 -시공방법 검토 -시공순서도 -해석결과와 설계도면의 일치성 비교 검토	좌 동	

정기점검					
현 재				변 경	근거 및 참조
점검부위		점검사항	점검장비	점검사항	
콘크리트 옹벽	간단한 외관조사	◦파손 및 손상, 균열 ◦누수, 층분리 및 박락, 백태 ◦철근노출 ◦배수공상태 ◦주변영향인자 (배수시설 및 옹벽주변 상태)	-망원경 -카메라 -필기도구 -줄자 -망치 -손전등 -균열경 및 균열측정기 -측량기 또는 진행성결함 항목 측정 및 계측에 필요한 장비	◦배수공상태 -겨울철 배수구 동결여부 조사	-겨울철 한랭지역에 시공된 옹벽구조물 배수구가 동결 (옹벽구조물 동결피해 방지 가이드라인 3.4 동결피해지역 옹벽관리 방안 참조)
보강토 옹벽	간단한 외관조사	◦파손 및 손상, 균열 ◦기초부의 세굴 ◦주변영향인자 (배수시설 및 옹벽주변 상태)		◦주변영향인자 -동결로 인한 보강재 파괴 보강토벽체 균열, 파대변위 조사	-겨울철 한랭지역에 시공된 보강토옹벽 피해 (옹벽구조물 동결피해 방지 가이드라인 3.4 동결피해지역 옹벽관리 방안 참조)
석축	간단한 외관조사	◦파손 및 손상, 균열 ◦기초부의 세굴 ◦주변영향인자 (배수시설 및 옹벽주변 상태)		좌 동	
돌망태 옹벽	간단한 외관조사	◦채움재 유실 ◦wire mesh의 파손 ◦기초부의 세굴 ◦주변영향인자 (배수시설 및 옹벽주변 상태)		좌 동	
공통	진행성 결함조사 (필요시)	◦계획선형오차 (전도/경사) ◦균열 ◦침하		좌 동	

정밀점검		
현 재	변 경	근거 및 참조

옹벽 형식	점검 방법	점검사항	점검장비	점검사항	
콘크리트 옹벽	면밀한 외관 조사	-전면부의 주요결함 • 파손 및 손상, 균열 • 누수, 층분리 및 박락, 백태 • 철근노출, 배수공상태 -주변영향인자 (배수시설 및 옹벽 주변 상태) -기초부의 세굴 등		• 배수공상태 *(겨울철 배수구 동결 여부 조사)*	*- 겨울철 한랭지역에 시공된 옹벽구조물 배수구가 동결 (옹벽구조물 동결피해방지가이드라인 3.4 동결피해지역 옹벽관리 방안 참조)*
	간단한 측정	• 현황측정 • 반발경도법에 의한 강도 조사 • 침하, 활동, 계획선형오차 (전도/경사) 등		*좌 동*	
보강토 옹벽	면밀한 외관 조사	-전면부의 주요결함 • 파손 및 손상, 균열 -주변영향인자 (배수시설 및 옹벽 주변상태) -기초부의 서굴 등	- 망원경 - 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 망치 - 손전등 - 슈미트해머 - 균열경 및 균열측정기 - 측량기 또는 진행성 결합 항목 측정 및 계측에 필요한 장비	◦ 주변영향인자 *-동결로 인한 보강재 파괴나 보강토벽체 균열, 과대변위 조사*	*-겨울철 한랭지역에 시공된 보강토옹벽 피해 (옹벽구조물 동결피해방지가이드라인 3.4 동결피해지역 옹벽관리 방안 참조)*
	간단한 측정	• 현황측량 • 침하, 활동, 계획선형오차 (전도/경사) 등		*좌 동*	
석축	면밀한 외관 조사	-전면부의 주요결함 • 파손 및 손상, 균열 • 암석의 풍화도 판정 -주변영향인자 (배수시설 및 옹벽 주변상태) -기초부의 세굴 등		*좌 동*	
	간단한 측정	• 현황측정 • 침하, 활동, 계획선형오차 (전도/경사)		*좌 동*	
돌망태 옹벽	면밀한 외관 조사	-전면부의 주요결함 • 채움재 유실 -주변영향인자 (배수시설 및 옹벽 주변상태) -기초부의 세굴 등		*좌 동*	
	간단한 측정	• 현황측량 • 침하, 활동, 계획선형오차 (전도/경사) 등		*좌 동*	
공통	진행성 결함 조사 (필요시)	◦ 침하 ◦ 계획선형오차 (전도/경사) ◦ 균열		*좌 동*	

(3) 12장 사면편 개정(안)

사면의 일반적인 정밀안전진단 항목 및 방법				
현 재			변 경	근거 및 참조
점검부위	진단항목	검사장비/방법		
사면손상 상태조사	○ 파괴 징후 조사 - 인장균열 : 유/무, 폭, 길이, 깊이, 균열의 진행성여부	줄자, 클리노컴파트, 균열측정기 육안조사 등	*좌동*	

	- 지반변형 : 유/무. 변형범위, 변형방향, 최대 변위량 - 구조물변형 : 유/무. 구조물 유형/규모, 변형범위, 변형방향, 최대 변위량			
	○ 파괴 현황 조사 - 파괴 유형 - 파괴부위의 일치 - 파괴 발생 규모 : 폭, 길이, 깊이, 높이	거리측정기, 카메라, 줄자, 클리노컴파스. 육안조사 등	*좌동*	
사면파괴 요인조사	○ 지반상태 - 토질 및 지반조건, 토층 두께 - 대표적인 절리의 특성 (주향/경사, 절리상태) : 길이, 틈새, 거칠기, 충전물, 풍화도	거리측정기, 클리노컴파스, 줄자, 프로파일게이지, 지질해머, 육안조사 등	*좌동*	
	○ 사면형상 - 사면경사, 집수지형	클리노컴파스, 육안조사 등	*좌동*	
	○ 자연적 외부요인 - 강우량(시간당 강우량, 1일 강우량, 누적강우량) - 지하수위	강우자료 참조 시추조사 육안조사 등	○ 자연적 외부요인 - 강우량(시간당 강우량, 1일 강우량, 누적강우량) - 지하수위 *- 동결로 인한 피해 상태*	*(동결피해방지 가이드라인 2.4 동결지역 사면 관리 방안' 참조)*
	○ 인위적 외부요인 - 표면보호공 상태 - 절취 상태 - 사면 보강공 상태 - 배수조건	육안조사 등	*좌동*	
지표·지질·지반조사 및 시험	○ 토질 및 암석 물성시험 - 암석 : 일축압축강도시험(코어시료 획득 불가시 점하중시험으로 환산), 절리면 직접전단시험(점착력, 내부마찰각), 단위중량, 탄성파속도, 탄성계수, 포아송 비 - 토질 : 토사 진단강도(삼축, 직접) 시험, 표준관입시험, 토질분류(함수비, 애터버그 한계, 비중, 입도시험) 등 ○ 지표, 지질조사 - 지질구조대(단층, 습곡, 파쇄대) 조사 - 선조사법(또는 창조사법)을 이용한 절리특성 자료획득 ○ 물리탐사(범면의 상태를 관찰하기 어려운 경우 실시) - 전기비저항 탐사, 탄성파 탐사, GPR 탐사... 등 중 1가지 실시 ○ 시추조사 - 시추코아 채취 - 지하수위 측정 - 시추공내 절리방향성 분석	물리탐사, 토질/암석물성시험, 시추조사, 선(창)조사법 육안조사 등	*좌동*	

사면 정기점검 내용 및 항목

현 재			변 경	근거 및 참조
점검내용	점검항목	점검장비		
사면손상 상태	<간단한 외관조사> - 파괴정후 ·전반적인 외관상태 ·인장균열 및 이완 암괴 유/무 ·지반 빛 구조물 변형 유/무 - 파괴현황 ·파괴유형, 위치, 규모	- 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 클리노컴파스 - GPS(위치측정기) →도면사용가능	좌동	
사면파괴 요인	<간단한 외관조사> - 지반상태 ·구성물질, 풍화도, 불연속면 방향 - 사면형상 ·사면의 경사 ·집수지형 유/무 - 배수상태 - 보호시설 상태		<간단한 외관조사> - 지반상태 ·구성물질, 풍화도, 불연속면 방향 - 사면형상 ·사면의 경사 ·집수지형 유/무 - 배수상태 ·겨울철 배수구 동결여부 조사 - 보호시설 상태	겨울철 배수구 동결로 인한 사면보강 구조물 손상 및 낙석유발 가능 (동결피해방지 가이드라인 2.4 동결지역 사면 관리 방안 참조)

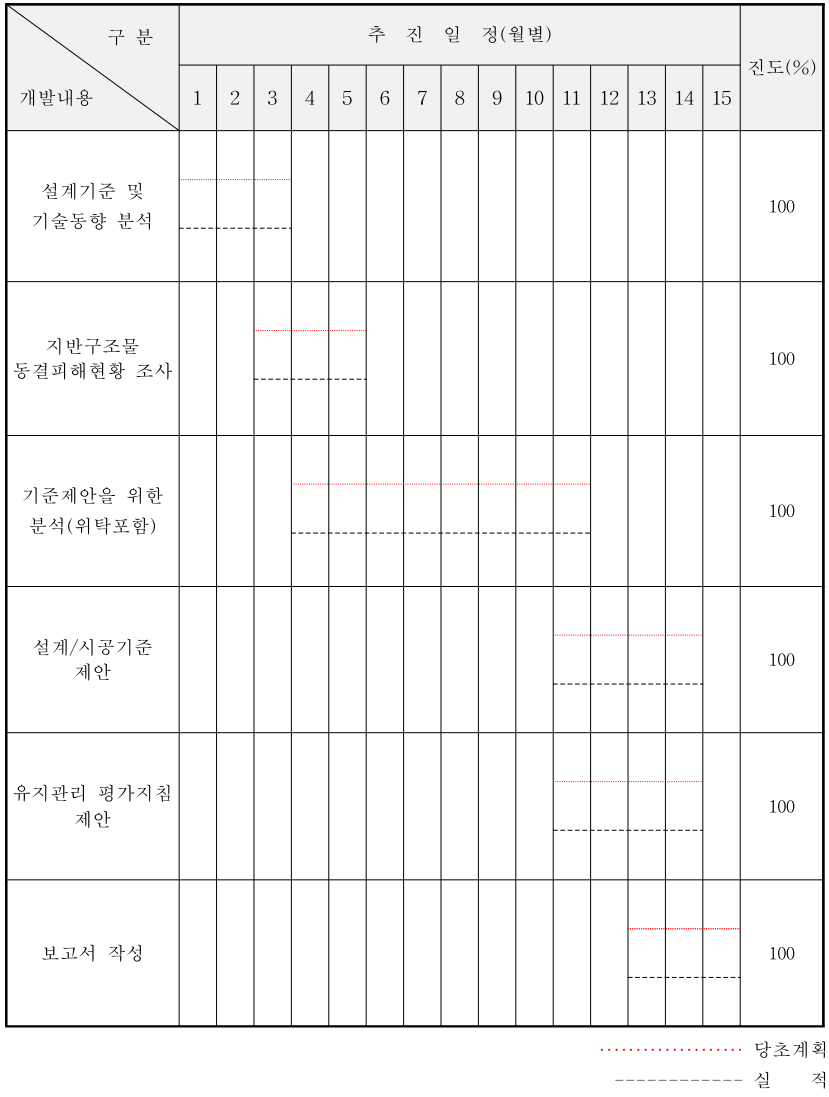
사면 정밀점검 내용 및 항목

현 재			변 경	근거 및 참조
점검부위	점검항목	점검장비		
사면손상 상태	<면밀한 외관조사> - 파괴정후 ·인장균열, 이완암괴 규모 ·사면 및 구조물 변형 상태 - 파괴현황 ·파괴유형, 위치, 규모 등		좌동	
사면파괴 요인	<면밀한 외관조사> - 지반상태 ·토질 조건 및 토층 심도 ·토질의 연경도 ·절리 경사 및 방향 ·절리간격, 거칠기, 연장 등의 상태 - 사면형상 사면 경사 및 집수지형 - 자연적 외부 요인 상태 ·강우 및 지하수 상태(필요할 경우 지진 하중) - 인위적 외부 요인 상태 ·절취 상태, 배수 조건 ·표면 보호 및 보강공 상태 <간단한 측정> - 반발경도법에 의한 강도 조사	- 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 지질용 해머 - 클리노컴파스 - 거리측정기 - GPS(위치측정기) →도면사용가능 - 슈미트해머 - 토양경도계	<면밀한 외관조사> - 지반상태 ·토질 조건 및 토층 심도 ·토질의 연경도 ·절리 경사 및 방향 ·절리간격, 거칠기, 연장 등의 상태 - 사면형상 사면 경사 및 집수지형 - 자연적 외부 요인 상태 ·강우 및 지하수 상태(필요할 경우 지진 하중) ·지하수 누출부위 동결상태 - 인위적 외부 요인 상태 ·절취 상태, 배수 조건 ·표면 보호 및 보강공 상태 <간단한 측정> - 반발경도법에 의한 강도 조사	(동결피해방지 가이드라인 2.4 동결지역 사면 관리 방안' 참조)

	(슈메트해머, 토양경도계)		(슈메트해머, 토양경도계)	
시험 (안전성평가의 경우)	<안정해석을 위한 지반정수 분석> - 토질시험 ·전단시험(점착력, 첨두마찰각, 잔류마찰각), 표준관입시험 - 암석시험 ·일축압축강도 (코어시료 획득 불가시 점하중시험으로 환산) ·절리면 직접전단시험(점착력, 내부마찰각) ·물성시험 : 단위중량, 탄성계수, 포아송 비	- 토질/암석 물성시험	좌동	

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 수행 진도율



제 2 절 연구개발목표의 달성도

목 표	달성도 (%)	주요 연구내용
◦ 국내외 동결피해지역 지반구조물 건설 관련 설계기준 및 기술동향 분석	100	◦ 일본, 러시아 등 동결지역 지반구조물 관련 기준 조사/분석 ◦ 동결피해 지반구조물 선정을 위한 국내 관련 기준, 시방서 분석 ◦ 관련 기술동향분석 및 특허분석
◦ 강원권 동결피해지역 지반구조물 피해현황 및 최근 기후변동 추이 조사 분석	100	◦ 강원권 동결피해구조물 조사(피해현황 자료 조사 및 현장조사) ◦ 기준제안을 위한 동결피해 대상 지반구조물 선정(매설관, 동상방지층, 교대, 기초 등) ◦ 최근 기후현황 및 변동추이 조사분석
◦ 기준제안을 위한 분석	100	◦ 대상 구조물별 기준제안을 위한 자문연구진 구성 ◦ 대상 구조물별 세부 기준/조사 분석 ◦ 집중토론회
◦ 동결피해 대상 지반 구조물 설계 및 시공 기준 제안	100	◦ 토론회 결과에 따른 설계 및 시공기준(안) 제안 ◦ 공청회
◦ 동결피해 대상 구조물 손상평가방안 및 관리 방안 제안	100	◦ 토론회 결과에 따른 구조물 관리방안(안) 제안 ◦ 공청회

제 3 절 관련분야에의 기여도

본 연구는 동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가관리기술 및 설계시공지침 개발 연구로써, 동결로 인한 피해대상 지반구조물을 조사/분석하고, 동결지역에 대한 국외의 설계기준 등을 조사하여 동결피해 대상 구조물을 선정하고, 선정된 동결피해 대상구조물에 대한 국내 설계/시공지침을 제안하는데 있다.

당해연도에 본 연구를 통해 수집된 자료들은 동토지대의 지반구조물 평가관리기술 및 설계시공지침 개발 연구에 필요한 국내외 설계기준, 기술동향, 특허분석 등의 자료로써 관련 연구에 일조하리라 기대한다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 본 연구에서는 동결지역의 지반구조물 설계/시공시 피해저감을 위하여 [동결피해지역 지반구조물 설계/시공 가이드라인 - 터널, 사면, 옹벽, 기초]를 제안하였다.
- 본 연구를 통하여 제안된 '설계/시공 가이드라인'은 구조물 설치지역의 동결심도가 깊어, 동결피해가 우려되는 구조물의 설계/시공시 피해저감을 위한 방안을 충분히 활용될 수 있을 것이다.
- 또한 본 '가이드라인'을 기반으로 구조물의 동결피해와 관련된 다양한 조사와 연구가 수행된다면, 향후 국가 설계기준 및 시방기준으로의 활용이 가능할 것이며, 이로부터 동결피해로 인한 구조물의 보수보강이 감소하게 되어 경제적 손실 및 대국민 이미지제고에도 기여할 수 있을 것이다.
- 동결피해지역의 피해저감을 위한 설계를 위해서는 구조물의 피해, 관리, 시공과 관련한 자료의 축적이 필요하므로 향후 지속적인 연구가 진행된다면 이러한 사항에 대한 D/B의 구축이 필요할 것이다.
- 최근 해외시장으로의 진출시, 동결지역에 대한 설계/시공 노하우 및 경험이 없어 매우 어려움을 겪고 있으나, 본 가이드라인을 토대로 동결피해 저감을 위한 다양한 기술의 개발 및 실적이 뒷받침 된다면, 향후 국가 경쟁력 향상에도 도움이 될 것이다.
- 특히, 평창 동계올림픽의 유치로 강원지역의 구조물 건설이 활발해 지고 있는바, 본 가이드라인을 활용함으로써 강원지역 구조물의 내구성 향상 및 동계올림픽 개최시 국내의 기술수준 향상을 홍보할 수 있을 것이다.
- 본 연구를 통해 제안된 가이드라인의 활용 및 관련연구의 활성화를 통하여 정부의 남북한 사업인 연결 가스파이프 라인 추진 등 향후 통일대비 기술력 확보가 가능할 것이다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 해외과학기술정보 배경 및 목적

동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술은 여러 지반구조물 중에서 A(터널), B(사면), C(옹벽), D(기초) 기술 분야로 나눌 수 있으며, 각 기술 분야와 관련하여 우리나라 강원도 지방과 같이 기온이 낮은 지역에서 일어나는 동결융해로 인한 지반구조물의 동결피해를 예방 또는 저감하기 위한 기술의 필요성에 대한 인식으로 대두되었으며, 이와 관련하여 논문 및 특허관련하여 해외과학 기술정보를 수집하였다.

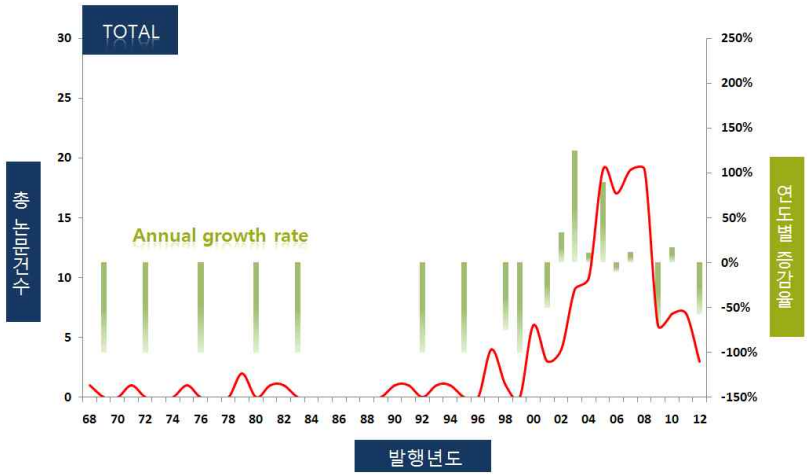
제 2 절 해외과학기술정보 현황 분석

해외과학기술정보를 수집하기 위하여 국가별 논문동향 및 특허 분석을 실시하였다. 국가별 논문동향 분석에서는 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발기술과 관련하여 전 세계 국가 중, 논문발행이 활발한 국가에 대한 분석을 통해 논문에 의한 본 기술의 기술수준 및 기술개발 활동현황을 분석하였으며, 세부기술별 논문동향 분석에서는 세부기술별로 구간별 논문발행 동향, 주요발행국별 세부기술 동향, 다발행인의 논문동향 등을 분석하고, 이를 분석한 의미가 시장·환경 분석결과를 반영할 수 있도록 하여, 시장·환경과 논문동향과의 관계를 분석하며, 본 과제에 대한 연구가 어떻게 이루어지고 있는지 분석을 실시하였다. 특허 분석은 Landscape, 세부기술 분석, 심층분석으로 나누어 분석을 실시하였으며, 특허기술 Landscape에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본, 유럽, 캐나다에서의 주요시장국 기술개발 활동현황, 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 기술시장 성장단계 분석을 통한 국가간 기술경쟁력 현황 분석 등을 통해 국가별 Landscape를 분석하였으며, 상위 Top10의 다출원인 도출을 통하여 주요 경쟁자 현황을 분석하고, 주요 경쟁자들의 주력 기술 분야에 대한 파악을 통하여 경쟁자 Landscape를 분석하였다.

제 3 절 논문 연구현황 분석

1. 국가별 논문 동향

가. 논문으로 본 국가별 연도별 동향



<그림 6.1> 연도별 논문 동향

◦ 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술 분야에 대한 발행연도별 논문동향을 살펴보면, 1968년부터 1990년대 중반까지 산발적인 논문 발행만이 존재하고 있었으나, 1990년대 후반부터 급격히 논문 발행이 증가하여 2008년까지 활발하게 논문 발행이 이루어진 것으로 나타남. 다만, 2008년을 기점으로 최근까지는 논문 발행이 급격히 하락하고 있는 것으로 보인다.

◦ 발행국가별로 연도별 논문동향을 살펴보면, 일본의 경우, 2000년에 첫 논문이 발행되었고, 이후 2004년까지는 논문 발행이 없다가, 2005년부터 다시 논문 발행이 시작되어 논문 발행건수가 증감을 반복하지만, 최근에는 감소하는 추세를 보이고 있다.

◦ 한국의 경우, 1990년에 첫 논문이 발행되었고, 이후 1999년까지는 논문 발행이 없다가, 2000년부터 다시 논문 발행이 시작되어 논문 발행건수가 증감을 반복하지만, 최근에는 감소하다가 정체되는 추세를 보이고 있다.

◦ 미국의 경우, 1993년에 첫 논문이 발행되어서 2009년까지 증감을 반복하였으나, 2009년부터 최근까지의 논문 발행은 이루어지지 않고 있다.

◦ 중국의 경우, 2000년에 첫 논문이 발행되었고, 2002년부터 2005까지 매우 큰 폭으로 증가하였으나, 2005년을 기점으로 2009년까지 다시 큰 폭으로 감소하여 2009년부터 현재까지는 논문 발행이 이루어지지 않고 있다.

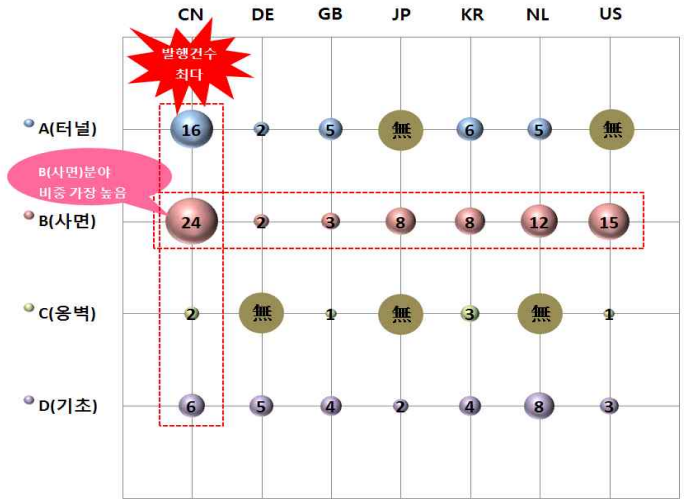
◦ 독일의 경우, 1968년부터 현재까지 별 다른 특징 없이 산발적인 논문 발행이 일어나는 추세이다.

◦ 영국의 경우, 1997년에 첫 논문이 발행되었고, 이후 2000년대 초반부터 현재까지 증감을 반복하는 추세로 논문 발행이 이루어지고 있다.

◦ 네덜란드의 경우, 1979년에 첫 논문이 발행되어 2000년대 이전까지 산발적으로 미미한 논문 발행만이 나타나다가 2000년대 들어서면서 2008년을 정점으로 현재까지 지속적인 논문발행이 이루어지고 있다.

◦ 전체적으로 특허동향에 비하여 2000년대 이전의 논문 발행건수가 크게 빈약하게 나타나는 것으로 보아, 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가 · 관리기준 및 설계시공지침개발 기술 분야의 논문활동이 특허활동에 비해 비교적 늦게 활발해진 것으로 보인다.

나. 국가별 세부기술별 논문 동향



<그림 6.2> 국가별 세부기술별 동향

◦ 국가별 세부기술별 논문 동향을 살펴보면, 전체적으로 A(터널) 기술 분야, B(사면) 기술 분야는 중국에서의 발행이 가장 많았고, C(옹벽) 기술 분야는 한국에서의 발행이 가장 많았으며, D(기초) 기술 분야는 네덜란드에서의 발행이 가장 많게 나타났다.

◦ 중국의 경우, A(터널) 기술 분야, B(사면) 기술 분야의 발행이 다른 국가들에 비해 압도적이고, 그에 따라 전체적인 발행건수 또한 다른 국가들에 비해 압도적으로 많음을 알 수 있다.

◦ 중국에 발행된 세부기술 중 가장 출원건수가 많은 기술 분야는 B(사면) 기술 분야로 24건의 발행이 이루어진 것으로 나타났다.

◦ 일본, 미국에서는 A(터널) 기술 분야가 논문 발행이 존재하지 않는 공백기술로 나타나며, 독일, 일본, 네덜란드에서는 C(옹벽) 기술 분야가 논문 발행이 존재하지 않는 공백기술로 나타났다.

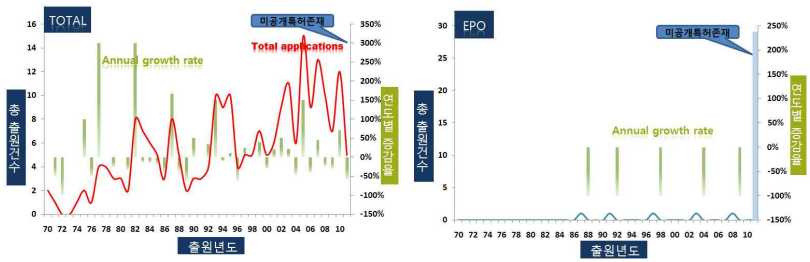
◦ 전체적으로 봤을 때, 각 기술 분야 중에서 C(옹벽) 기술 분야의 연구가 가장 지지부진 한 것으로 판단되며, 아울러 C(옹벽) 기술 분야의 연구가 시급히 이루어져야 할 것으로 보인다.

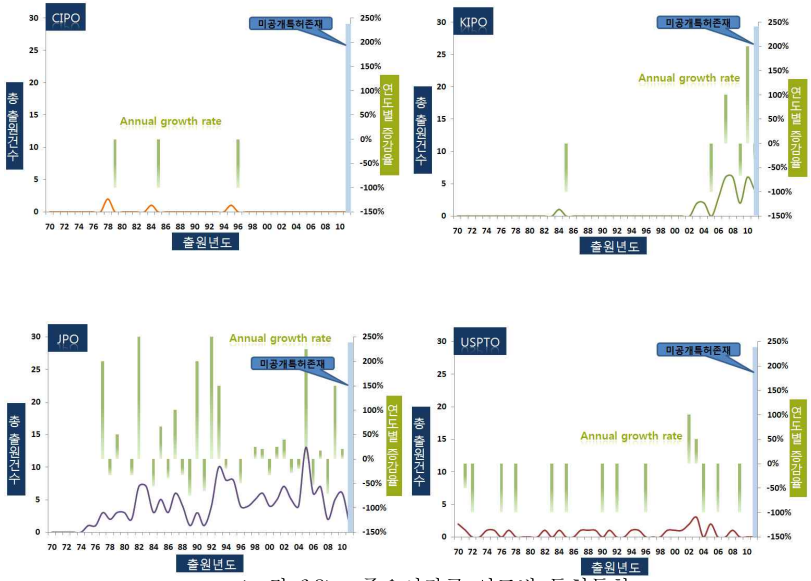
제 4 절 특허 현황 분석

가. 국가별 Landscape

◦ 주요시장국 기술개발 활동현황

- 주요시장국 연도별 특허동향





<그림 6.3> 주요시장국 연도별 특허동향

◦ 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술 분야의 연도별 전체 특허동향을 살펴보면, 증가와 감소를 반복하고 있으나, 전체적으로 거시적인 관점에서 보면 1970년대 초반부터 2000년대 중반까지 출원건수가 증가하는 추세이며, 또한 2005년도에 출원건수의 최고치를 기록하고 있으며, 그 이후 현재까지 증가와 감소를 반복하며, 점차 출원건수가 줄어드는 추세를 보인다.

◦ 각 국가별 연도별 동향을 살펴보면, 유럽의 경우, 1970년에서 1986년까지 특허 출원이 나타나지 않다가 1987년에 들어서 첫 특허 출원이 나타나고, 그 이후 산발적으로 특허 출원이 나타나고 있으나, 그 건수가 아주 미미한 실정이다.

◦ 캐나다의 경우, 1970년에서 1977년까지 특허 출원이 나타나지 않다가 1978년에 들어서 첫 특허 출원이 나타나고, 그 이후 유럽과 마찬가지로 산발적으로 특허 출원이 나타나고 있으나, 그 건수가 아주 미미한 실정이고, 1995년을 마지막으로 현재까지 출원 활동이 보이지 않는 추세이다.

◦ 한국의 경우, 1970년에서 1983년까지 특허 출원이 나타나지 않다가 1984년에 들어서 첫 특허 출원이 나타나고, 그 이후 2002년까지 다시 특허 출원이 전무하다. 하지만, 한국은 유럽과 캐나다와 달리 2003년을 기점으로 현재까지 특허 활동이 다소 적게나마

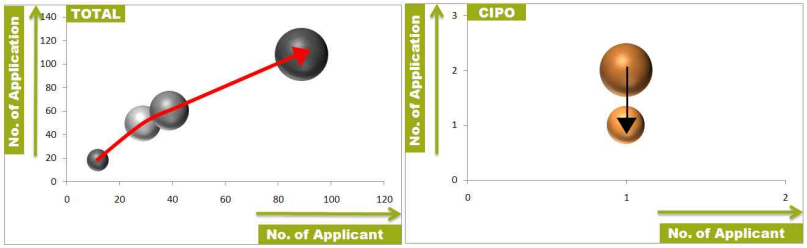
이루어지고 있는 것으로 분석된다.

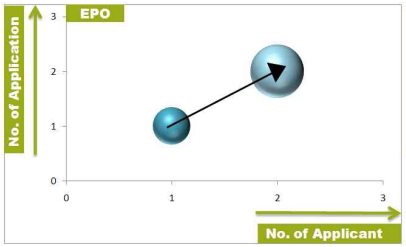
◦ 일본의 경우, 1975년에 첫 특허 출원이 시작되어 현재까지 특허 출원 활동이 타국가들에 비해 지속적으로 이루어지고 있는 것으로 파악되며, 일본은 전체적으로 증감을 반복하는 것으로 보이며, 2005년을 정점으로 이후 2000년대 후반에는 다소 주춤한 추세이고, 연도별로 출원되는 특허 출원건수가 타 국가들에 비해 압도적인 것으로 나타나므로 본 과제 기술과 관련한 특허 활동이 가장 활발한 국가라 판단된다.

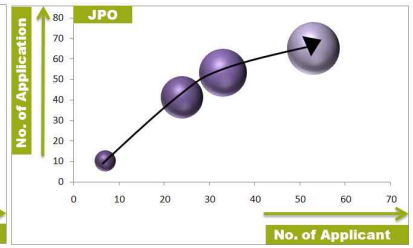
◦ 미국의 경우, 1970년대 초반부터 2000년대 후반까지 지속적으로 출원 활동이 나타나긴 하나, 출원이 나타나는 각 연도의 출원건수가 미미한 실정이며, 각 연도별로 나타나는 출원건수가 산발적이라 의미를 부여하기 힘들다 사료된다.

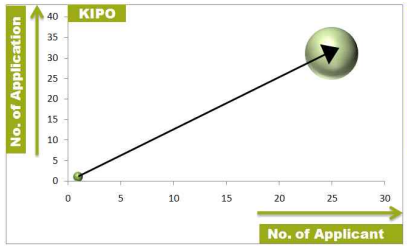
나. 기술시장 성장단계 파악

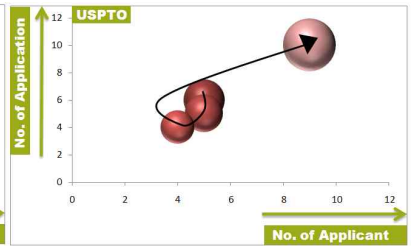












한국/미국/일본/유럽/캐나다 : 70-79, 80-89, 90-99, 00-11

<그림 6.4> 국가별 Landscape

[KPO] 포트폴리오로 나타낸 한국특허의 기술위치는 제1구간(1970년-1979년)에서 미미한 출원건수 및 출원인수가 존재하다가 제2구간(1980년-1989년) 및 제3구간(1990년-1999년)에서는 출원건수 및 출원인수가 존재하지 않고, 제4구간(2000년-2011년)에 진입하여 출원건수 및 출원인수가 동시에 급증하고 있는 발전기에 있는 것으로 나타났다.

[USPTO] 포트폴리오로 나타낸 미국특허의 기술위치는 제1구간(1970년-1979년), 제2구간(1980년-1989년), 제3구간(1990년-1999년)에 이르기까지 지속적으로 출원건수 및 출원인수가 미세하게 감소하지만 제4구간(2000년-2011년)에서 출원건수 및 출원인수가 증가하고 있는 것으로 나타나고 있으므로 발전기에 있는 것으로 판단된다.

[JPO] 포트폴리오로 나타낸 일본특허의 기술위치는 제1구간(1970년-1979년), 제2구간(1980년-1989년), 제3구간(1990년-1999년), 제4구간(2000년-2011년)에 이르기까지 지속적으로 출원건수 및 출원인수가 점차 증가하고 있는 것으로 나타나고 있으므로 발전기에 있는 것으로 나타났다.

[EPO] 분석을 위한 데이터 건수가 미미하여 기술시장 성장단계 파악에 대한 분석이 무의미함

[CIPO] 분석을 위한 데이터 건수가 미미하여 기술시장 성장단계 파악에 대한 분석이 무의미함

종합하면, 캐나다, 유럽을 제외한 한국, 미국, 일본의 경우에는 최근 들어 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술 분야에 관심이 나타나고 있음을 알 수 있다.

다. 경쟁자 Landscape

<그림 6.5> 경쟁자 Landscape

	출원인국적	주요IP시장국(건수,%)				IP시장국 종합	특허출원 증가율 (최근5	주력분야
		유럽	일본	한국	미국			
		EP	JP	KR	US			
NIPPON KOKAN KK	일본	1 7%	12 80%	1 7%	1 7%	일본	증가율 산출 불	D(기초)
SHIMIZU CORP	일본	0 0%	6 100%	0 0%	0 0%	일본	-50%	D(기초)
KFC LTD	일본	0 0%	6 100%	0 0%	0 0%	일본	-67%	A(터널)
NKK CORP	일본	0 0%	5 100%	0 0%	0 0%	일본	증가율 산출 불	D(기초)
OHBAYASHI CORP	일본	0 0%	5 100%	0 0%	0 0%	일본	-100%	B(사면)
BRIDGESTONE CORP	일본	0 0%	4 100%	0 0%	0 0%	일본	증가율 산출 불	A(터널)
KOREA INSTITUTE OF CONSTRUCTION	한국	0 0%	0 0%	4 100%	0 0%	한국	증가율 산출 불	C(옹벽)
DAITO JUKI KOJI KK	일본	0 0%	4 100%	0 0%	0 0%	일본	증가율 산출 불	D(기초)
TOYO BUSSAN KK	일본	0 0%	4 100%	0 0%	0 0%	일본	증가율 산출 불	A(터널)
SEKISUI	일본	0 0%	3 100%	0 0%	0 0%	일본	-100	A(터널)

* 대분류 대상 다출원 상위 10개 출원인

동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술 분야에 관한 특허동향에 있어서 주요출원인 TOP10를 살펴본 결과 대다수의 출원인이 일본 국적을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 특히 NIPPON KOKAN KK, SHIMIZU CORP, KFC LTD가 랭킹 1,2,3 위를 차지하는 것으로 타나났다.

동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술 분야에 있어서, 특히 일본의 기술력이 지배적으로 다수 포진되어 있는 것으로 평가되며, 그 중에서도 중분류 A(터널), 중분류 D(기초)에 관한 기술이 주류를 이루는 것으로 나타으며, 주목할 것은 한국의 경우, KOREA INSTITUTE OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY(한국 건설 기술 연구원)이 동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가·관리기준 및 설계시공지침개발 기술 분야에 관한 특허출원으로 랭킹 7위에 진입해 있다는 사실이다. 다만, 전체적으로 주요 출원인들의 총 출원건수 자체가 미미하므로 큰 의미를 부여하기는 어려울 것이라 사료된다.

제 7 장 참고문헌

1. 기상청, http://www.kma.go.kr/
2. 한국시설안전공단 시설물정보관리 종합시스템, http://fms.or.kr
3. 국토해양부, 철도설계편람-노반편(2011)
4. 국토해양부, 터널표준시방서(2009)
5. 국토해양부, 터널설계기준 및 해설(2007)
6. 국토해양부, 도로설계편람 제6편(2010)
7. 국토해양부, 건설공사 비탈면 설계기준(2011)
8. 국토해양부, 건설공사 비탈면 표준시방서(2011)
9. 국토해양부, 도로교 설계기준(2010)
10. 국토해양부, 콘크리트 구조설계기준(2007)
11. 국토해양부, 구조물 기초 설계기준 해설(2009)
12. 한국도로공사, 보강토옹벽 설계기준(2007)
13. 부처별 녹색성장 주간 정책·홍보 동향, 녹색 성장 위원회
14. 홍승서, 김영석, 배규진(2010), 남극 대륙기지 건설지에서 채취한 흙시료의 동결 특성에 관한 기초연구
15. 김영진, 신재원, 손승모(2009), 세종기지 및 시베리아 흙의 동결특성 시험
16. 김영진, 강재모(2003), 폐유리혼합토의 동결특성에관한연구
17. 국토교통성, 북해도지방정비국 제4집 터널, 제7장 방수공, 단열공, 배수공(2012)
18. 국토교통성, 북륙지방정비국 제10장 터널, 10-8 방배수공(2012)
19. 국토교통성, 중부지방정비국 제12장 터널, 제4절 방수공 및 배수공(2008)
20. 국토교통성, 근기지방정비국 제8장 터널, 제8절 방수공, 배수공
21. 국토교통성, 사국지방정비국 제9장 터널, 제8절 방수공, 배수공(2007)
22. 국토교통성, 북해도개발국 도로설계요령
23. Broch 등(2002), 노르웨이 터널의 방수 및 지하수 동결방지 기준
24. 根岸正充(1993)、中島巖：層雲峡熔結凝灰岩の柱狀節理における龜裂進展とすべり破壞、応　用地質
25. 新　孝一(1987)、北野晃一：低溫下、高溫下での岩石　岩盤の特性調査、電力中央研究所報　告、U87010、電力中央研究所.
26. 福田正己(1996)、播磨屋敏生、原田鉱一郎：岩石の凍結－融解による風化が基礎崩落

に与え　　る影響について、月刊地球
27. 福田正己(1988)：1987年北海道層雲　　熔結凝灰岩崩壊とその災害に關する調査研究、文部省　　科學研究費突發災害研究成果
28. 藤井義明(1996)：豊浜トンネル岩盤斜面崩壊に關する材料試験と応力解析、北海道地區自然　　災害科學資料センター報告
29. 菊池宏吉(1997)：岩盤斜面の崩壊問題　　事例から見た斜面崩壊　　地すべりの發生原因とメカ　　ニズム、北海道応用地學合同研究會論文集
30. 土木學會(1997)：大規模岩盤崩落に關する技術檢討委員會報告書

<부 록>

1. 동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 설계시공 가이드라인(안)

2. 위탁과제 보고서

3. 집중토론회 및 공청회

4. 현장조사 자료

5. 자문위원 의견정리

1. 동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 설계시공 가이드라인(안)

-목 차-

1. 동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 설계시공 가인드라인(안)

제 1장 서론 ..... **부록 - 1**

1.1 가이드라인(안)의 목적 및 제안배경 ..... 부록 - 1

1.2 가이드라인(안)의 구성 ..... 부록 - 1

제 2 장 동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 설계시공 가이드라인(안) ..... **부록 - 2**

제 1절 터널 설계 및 시공 가이드라인(안) ..... 부록 - 2

1.1 일반사항 ..... 부록 - 2

1.2 터널 동결 피해 사례 ..... 부록 - 4

1.3 동결피해지역 터널 설계시 피해저감 방안 ..... 부록 - 7

1.4 동결피해지역 터널 관리 방안 ..... 부록- 10

1.5 동결피해지역 터널 시공시 고려사항 ..... 부록- 12

가. 터널 배수시설 시공시 고려사항 ..... 부록- 12

나. 터널내 동상방지층 설치 ..... 부록- 13

제 2절 사면 설계 및 시공 가이드라인(안) ..... 부록 - 14

2.1 일반사항 ..... 부록 - 14

2.2 사면 동결 피해 사례 ..... 부록 - 16

2.3 동결피해지역 사면 설계시 피해저감 방안 ..... 부록 - 18

2.4 동결피해지역 사면 관리 방안 ..... 부록 - 24

2.5 동결피해지역 사면 시공시 고려사항 ..... 부록 - 25

가. 시공시의 동결동상 조사 ..... 부록 - 25

나. 동결동상성의 판정 ..... 부록 - 26

다 대책 공법의 선정 ..... 부록 - 28

제 3절 옹벽 설계 및 시공 가이드라인(안) ..... 부록 - 29

3.1 일반사항 ..... 부록 - 29

3.2 옹벽 동결 피해 사례/유형 ..... 부록 - 30

3.3 동결피해지역 옹벽 설계시 피해저감 방안 ..... 부록 - 33
가. 옹벽 동결방지 단면 설계 ..... 부록 - 33
나. 옹벽 설계시 피해저감 방안 ..... 부록 - 34
3.4 동결피해지역 옹벽 관리 방안 ..... 부록 - 35
3.5 동결피해지역 옹벽 시공시 고려사항 ..... 부록 - 36
가. 뒷채움재 품질기준 ..... 부록 - 36
나. 배수시설 시공시 고려사항 ..... 부록 - 37

제 4절 기초 설계 및 시공 가이드라인(안) ..... 부록 - 38
4.1 일반사항 ..... 부록 - 38
4.2 기초 동결 피해 사례/유형 ..... 부록 - 39
4.3 동결피해지역 기초 설계시 피해저감 방안 ..... 부록 - 42
4.4 동결피해지역 기초 시공시 고려사항 ..... 부록 - 51
가. 동결가능성 조사, 기초바닥의 재료선정 및 시공 시 고려사항 ..... 부록 - 51
나. 초의 동상방지를 위한 고려사항 ..... 부록 - 52

제 1장 서론

제 1절 가이드라인(안)의 목적 및 제안배경

본 가이드라인(안)은 국토해양부 2011년도 지역기술혁신사업인 [동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가관리기술 및 설계시공지침 개발연구]를 통하여, 수행된 내용으로부터 작성한 것이다.

국내 기온이 낮은 지역에서의 지반구조물의 경우, 유지관리시 동결 등으로 인한 문제가 지속적으로 발생하고 있음에도 이를 대비하기 위한 대책이 정립되어 있지 않아, 설계 및 시공시 적절한 사전대책을 시행하고 있지 못한 실정이다. 또한, 지반구조물의 동결피해 저감을 위한 관련 조사 및 연구가 수행된 사례가 거의 없어 설계기준 및 시방기준을 제정하기에는 국내 여건을 반영한 관련근거가 매우 부족한 상황이다.

따라서, 국가 설계기준 및 시방기준 등의 제정에 앞서, 현장의 피해사례 및 다양한 국외 설계사례 등을 토대로, 설계/시공에 참고가 될 수 있도록 본 가이드라인(안)을 제안하게 되었으며 본 가이드라인(안)의 목적에 부합할 수 있도록 다양하게 활용할 수 있을 것이다.

제 2절 가이드라인(안)의 구성

본 가이드라인(안)은 동결피해를 받는 지반구조물을 대상으로 하였으며, 그 중 터널, 사면, 옹벽, 기초 구조물을 대상으로 하였다.

가이드라인(안)은 구조물 별로 각각 구성하였으며, 각 구조물별로 일반사항과 동결피해사례를 포함하고, 현장조사 및 연구결과로부터 연구된 사항을 활용하여 설계시 피해저감 방안과 관리방안, 시공시 고려사항 등의 내용을 제안 하였다.

제 2장 동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 설계시공 가이드라인(안)

제 1절 터널 설계 및 시공 가이드라인(안)

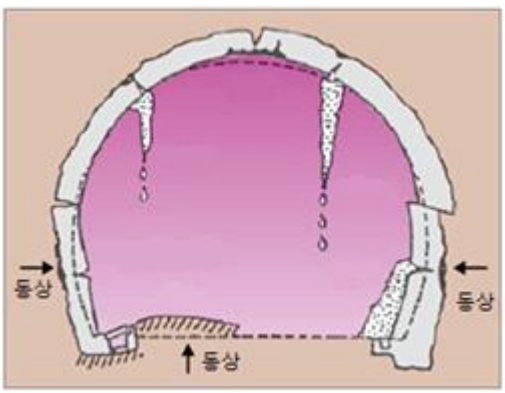
1.1 일반사항

본 가이드라인은 터널의 동결방지와 관련한 설계 및 시공관리 지침을 설명한 것으로 향후「동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가관리기술 및 설계시공지침 개발연구」성과에 의해 작성된 결과와 터널 유지관리 매뉴얼 등 별도로 제시하는 지침을 따를 수 있다.

【해 설】

한랭지에 건설된 터널은 기온이 영하로 내려가게 되면 동결로 인한 균열, 측압발생 및 압출, 고드름, 박리, 박락, 측빙, 도로 노면에서의 포장체의 동상 등으로 구조물에 손상이 발생할 수 있다(그림 1-1 a) 참조).

특히 배수관 또는 배수구와 콘크리트라이닝 배면에 누수가 발생하게 되면 동결로 인해 체적 팽창으로 균열 또는 터널 내 고드름이 발생하여 차량의 운행에 장애가 발생하기도 한다(그림 1-1 b) 참조).



a) 한랭지 터널에서의 변상 개념도





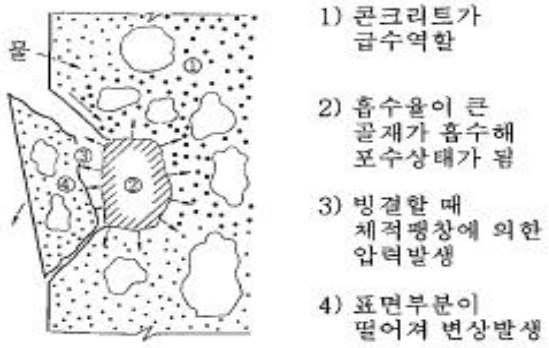
b) 터널 내 고드름 및 제거작업

<그림 1-1> 한랭지 터널에서의 변상 및 고드름 제거작업

동해는 한랭지 터널에서 콘크리트 라이닝의 열화요인 중에 중요한 요인에 해당한다. 동해에 의한 변상은 그림 1-2와 같이 균열 외에 골재를 중심으로 한 콘크리트의 팝아웃 현상, 모르터 및 콘크리트 부분의 파손, 내장재의 탈락 등이 나타날 수 있다.

일반적으로 동해현상은 겨울철을 포함한 한랭기후를 전후로 하여 일어나므로 계절성이 뚜렷하다고 본다. 동해의 발생구조는 콘크리트 안의 수분 동결 및 그에 따른 체적팽창이다. 즉, 골재와 페이스트, 굵은 골재와 모르터의 분리 또는 콘크리트의 인장강도를

넘는 팽창압으로 인해 균열이 발생한 후 동결·융해의 반복작용에 의해 변상이 진행되는데, 변상의 정도는 주변의 온도, 수분공급(누수, 강우 등), 시공할 때의 콘크리트 품질(공기량, 기포의 지름 분포, 골재의 품질 등)에 따라 차이가 있으며 콘크리트가 충분히 굳지 않은 시기에 온도가 내려간 경우에도 동해의 가능성이 있다.



<그림 1-2> 한랭지 터널에서의 팝아웃 현상

누수 및 동결로 인해 예상되는 문제점은 다음과 같다(표 1-1 참조).

<표 1-1> 누수 및 동결로 인한 문제점

구 분	현 황	비 고
터널기능 저하	-유해수에 의한 콘크리트라이닝의 열화 -동결에 의한 콘크리트라이닝 재료의 열화 -터널 주변지반의 동상압에 의한 변상 -토사유입, 퇴적 등에 의한 배수 불량	
차량운행 저해	-고드름, 측빙 등의 낙하 -누수 흩날림 -차바퀴의 공회전 및 미끄러짐	
기타	-통로, 맨홀 동결 -부대시설 부식	

1.2 터널 동결 피해 사례

1) 한랭지에 건설된 터널은 동결로 인해, 균열, 측압발생, 측압으로 인한 돌출, 고드름, 도로노면에서의 포장체의 동상으로 인한 균열 및 침하 등이 발생할 수 있다.
2) 터널에 발생하는 동결피해는 주로 갱구부 부근에서 현저하게 발생하고 있으며 터널 천장부 및 측벽부에서 흘러나오는 수분이 바깥쪽으로 냉각되어 발생하는 고드름과 측빙, 동상성 지반에서 동결 및 융해의 반복으로 콘크리트라이닝 재료의 열화로 인한 균열 등 변형이 발생할 수 있다.
3) 특히, 국내 2아치 도로터널의 경우 한랭지에 건설된 터널이 아니라 하더라도 겨울철 중앙기둥 배수관의 누수 및 동결로 인해 결빙 또는 고드름이 발생하여 일부 교통소통에 지장을 준 사례가 다수 있다.

【해 설】

국내 터널에 대한 동결 피해 사례조사가 체계적으로 관리가 되고 있지 않으나 한국도로공사에서는 영동고속도로 터널에 대해 동결피해 사례조사를 실시한 사례가 있다 (설계처-3293('06. 12. 14)).

조사결과 터널 시점부에서 동결피해가 발생한 것으로 나타났다(표 1-2 참조). 결빙은 터널 종배수관과 횡배수관에서 주로 발생하여 배수관이 막혀 있는 상태이며 일부 시공이음부에 누수가 발생한 것으로 조사되었다. 결빙구간은 터널 입구로부터 약 200m구간까지 발생하였다.

<표 1-2> 터널별 결빙발생 현황

터널명	연장(m)	결빙배수시설	결빙구간	결빙상태
○○터널 (인천방향)	3,300	종배수관(D400) 횡배수관(D100)	입구~200m까지	배수관 막힘
○○터널 (인천방향)	1,420	종배수관(D300)	입구~200m까지	배수관 막힘
○○터널 (강릉방향)	1,830	횡배수관(D100)	입구~200m까지	배수관 막힘 시공이음부 누수발생

대관령 1 터널은 대관령 지역의 일평균 기온이 약 -7℃ 이하로 2~3일간 지속될 경우 배수관이 동결되는 현상이 관찰되었으며 시공 이음부의 측벽바닥에서 천장부까지 올라가면서 고드름이 발생한 후 외기가 0℃ 이상이 되면 고드름이 녹아내리는 현상이 반복적으로 발생하였다(그림 1-3, 그림 1-4 참조).




<그림 1-3> 터널배수관 현황 및 배수관 결빙상태 확인



a) 비상구 유도등 누수



b) 시공이음부 결빙



c) 시공이음부 결빙



d) 신축이음부 결빙

<그림 1-4> 대관령 1터널 주요구간별 동결피해 현황

○○터널은 2아치 도로터널로 겨울철 동결피해로 인해 수차례 보수 보강을 실시하였다. 2아치 터널은 중앙 기둥부 배수파이프의 결빙에 따라 누수가 발생되었으며 배수관 및 거더부에 동판 또는 전열선을 이용한 융빙시설까지 도입하였으나 지속적으로 배수관 막힘 및 하자가 발생한 사례이다(그림 1-5 참조).



a) 거더부 누수로 인한 고드름 발생 현황



b) 기둥부 판넬 내부 결빙

<그림 1-5> ○○터널 동결피해 현황

한랭지 산악터널의 콘크리트라이닝 배면에서 발생하는 동결 및 융해는 콘크리트라이닝 구조물에 악영향을 줄 수 있으며 균열이나 누수 및 변형 등의 원인이 될 수 있다(그림 1-6 참조).



<그림 1-6> 동결현상에 의해 콘크리트라이닝에 발생한 균열

터널 동결로 인해 터널 콘크리트라이닝에 발생하는 고드름, 측빙, 콘크리트라이닝의 열화, 동결토압에 의한 콘크리트라이닝의 압출 등이 있으며 이러한 피해는 열차 또는 차량 운행에 문제를 발생시킬 소지가 있다. 그림 1-7, 그림 1-8은 측빙 및 콘크리트라이닝의 압출의 예이다.



<그림 1-7> 터널내의 측빙



<그림 1-8> 동결압에 의한 터널측벽 압출

1.3 동결피해지역 터널 설계시 피해저감 방안

1) 터널 동결 피해에 영향을 주는 인자는 일반적인 동결의 3가지 조건인 터널내의 온도분포 상황, 사용하는 재료특성, 터널내의 물의 공급이다.
2) 주로 터널에서 발생하는 동결은 온도와 관련이 있는 동결지수, 동결기간, 계획고, 터널방향 등이 가장 큰 영향을 미친다.
3) 터널 동결 피해 조사결과에 따르면 수정동결지수가 700℃.일이상이고 터널 방향이 북쪽 또는 서쪽으로 일조량이 적으며 터널 입구부 약 200m 구간에서 주로 동결피해가 발생한 것으로 조사되었다. 따라서 위의 조건에 해당되는 터널에서는 터널 동결피해 방지 대책을 적극 검토하여 수립하여야 한다.
4) 동결피해 저감 대책으로 누수방지공법, 동결방지공법, 고드름 제거 등이 있으며 터널의 환경조건에 따라 효율성, 내구성 및 경제성을 고려하여 다음과 같은 목적에 따라 적절한 대책공법을 선정해야 한다.
   - 동결융해에 의한 라이닝 재료의 열화방지
   - 배면지반의 동상압에 의한 터널의 변상방지
   - 고드름, 측빙, 빙파의 발생에 의한 차량운행에 유해한 영향 방지
   - 터널내 작업의 안정성 확보
   - 고드름 제거 등 보수작업의 용이성 확보
5) 신설터널의 경우 숏크리트와 콘크리트라이닝 사이에 단열재 설치가 일반적이며 기존터널의 경우 분사식 단열재 설치, 부착식 단열재 설치, 히팅케이블 설치 등이 있으며 시공성과 경제성, 내구성 등을 종합적으로 분석하여 공법을 선정해야 한다.

【해 설】

영동고속도로 터널에 대해 동결피해 사례조사(설계처-3293('06. 12. 14))에서 터널별 동결지수, 동결기간, 계획고, 터널방향, 발생현황에 대한 상관관계를 분석하였다. 수정동결지수와 터널방향과의 분석결과에 의하면 결빙피해를 입은 터널은 수정동결지수 700℃・일 이상에서 발생하였다

터널 방향에 따른 동결가능성 파악결과 터널방향을 고려할 때 일조량이 적은 구간은 동결피해가 발생한 사례가 있으므로 이를 고려하여 설계에 반영할 필요가 있다.

도로교통기술원에서 영동고속도로 운용 중 터널에 대한 온도를 측정한 자료('05. 2 측정)에 의하면 외기에 의한 동결 가능 구간은 터널 입구부에서 50 ~ 250m구간인 약 200m 구간에서 발생한 것으로 조사되었다.

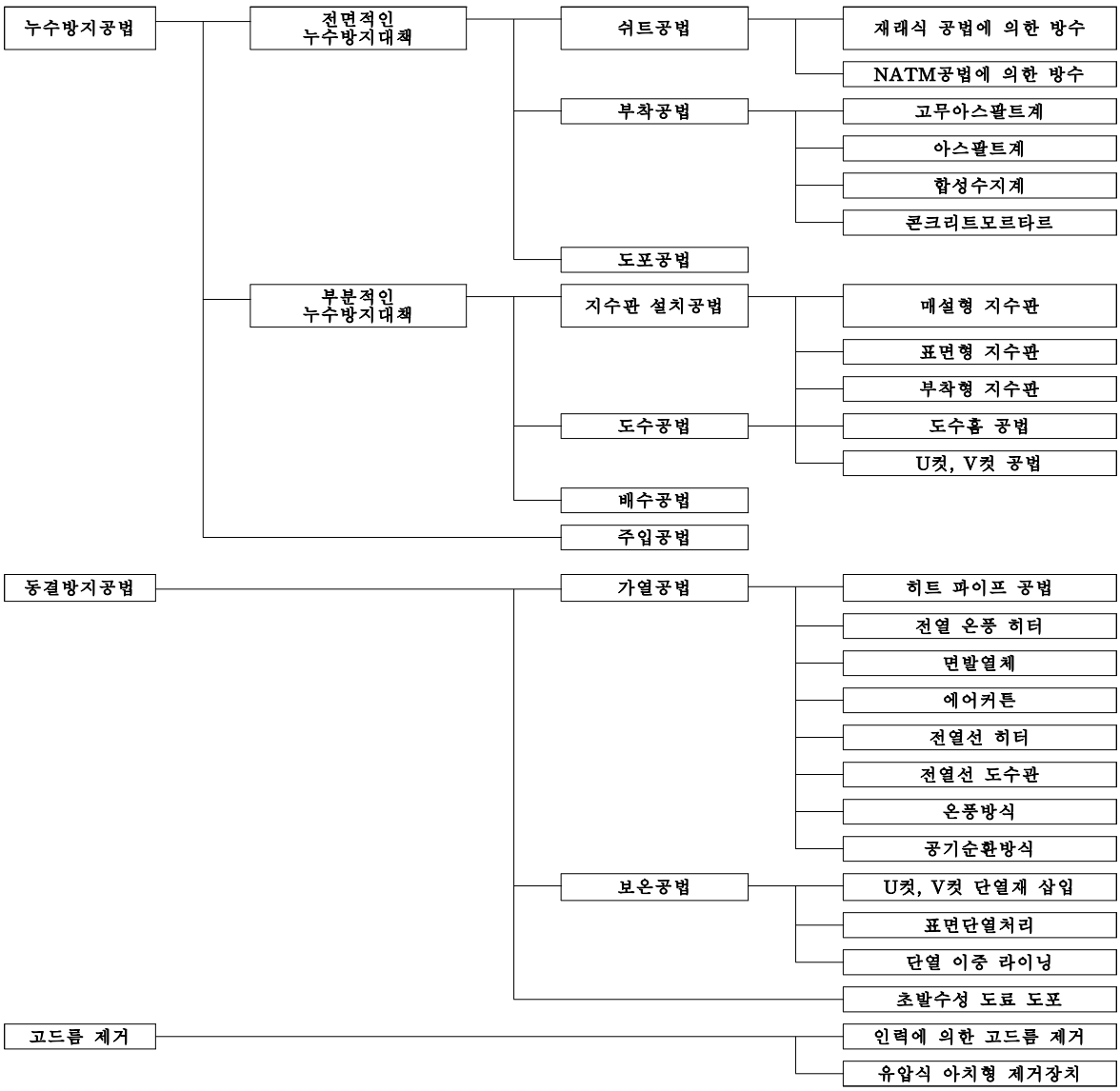
배수시설 결빙피해 조사결과 수정동결지수가 700℃・일이상이고 터널 방향이 N50°E ~ N45°W인 터널에서 주로 발생하였으며 피해가 발생한 구간은 터널 입구부 약 200m 구간에서 동결된 것으로 조사되었다.

터널내 동결방지 대책은 크게 누수방지공법, 동결방지 공법, 직접 고드름 제거하는 방법으로 구분할 수 있다(그림 1-9 참조).

누수방지공법으로는 방수용 쉬트를 이용하거나 고무아스팔트계 등을 이용하여 부착하는 전면적인 누수방지대책공법이 있으며 부분적인 누수방지대책으로 지수판을 설치

하거나 도수용 홈을 파거나 배수하는 방법이 있다.

동결방지 공법에는 전열선 또는 온풍 히터 등을 이용한 가열공법과 단열재를 이용한 보온공법이 있다.



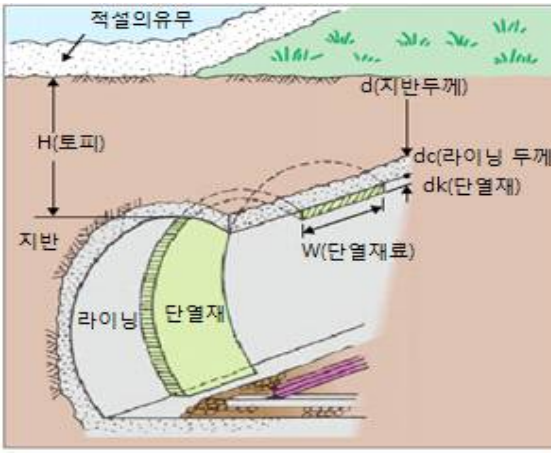
<그림 1-9> 동결방지 대책공법

터널의 동결방지 공법 선정시 터널내 온도, 누수온도, 누수량 등의 조건을 고려해야 하며 지반의 동결조건 등을 조사해야 한다. 고드름이나 동결을 방지하지 할 수 없는 경우에는 적극적인 동결방지공법을 계획해야 한다.

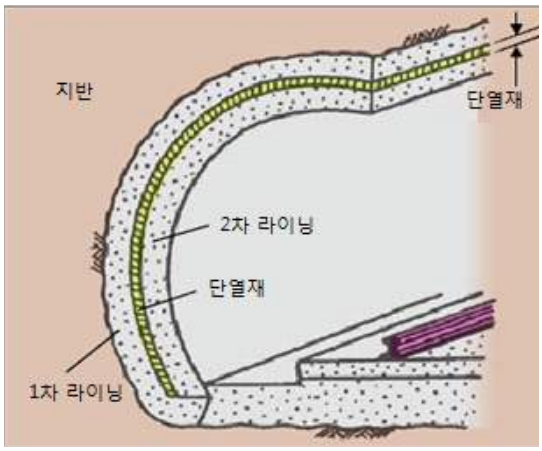
동결방지 공법에는 가열공법과 보온공법 등이 있으며 가열공법은 전열선을 통해 가열하는 것으로 전기 배선이 있는 경우에만 국한적으로 사용할 수 있다.

단열공법은 콘크리트라이닝 표면에 단열재를 설치해 지반의 열을 겨울철에 터널 내공으로 방출되지 않도록 하는 것으로 단열재의 배면을 영상으로 유지하는 방법이다. 열전도, 열전달 해석에 의해 단열재의 두께와 폭(W, dh), 적설의 유무(S), 터널 갱구로 부터의 거리 등을 포함한 표면단열공법의 설계가 제안되기도 한다.

단열이중라이닝공법은 기존 터널용 단열공법을 발전시킨 것으로 숏크리트와 콘크리트라이닝 사이에 단열재를 설치하는 공법으로 터널 길이별로 단열재 두께를 조절하여 경제성에서 타 공법에 비해 유리하다.



<그림 1-10> 기존터널용 고드름 방지 단열공법

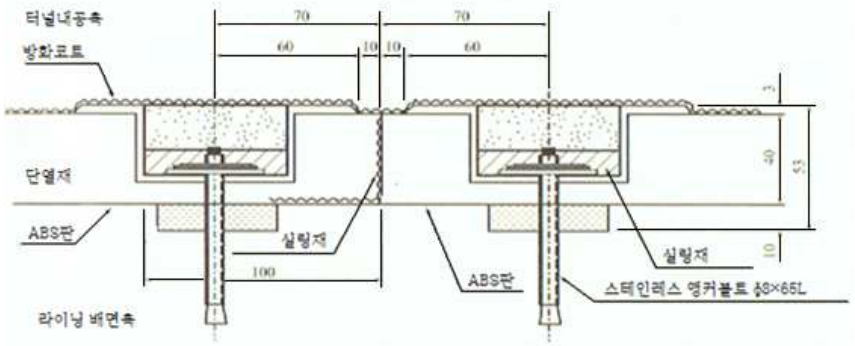


<그림 1-11> 신설터널용 단열이중라이닝공법

터널내 노상을 포함하는 인버트부는 일반도로구간과 마찬가지로 노면의 동상대책이 필요하다. 이 부분의 동상대책에 관해서는 터널내의 온도분포상황, 사용하는 노상재료, 노상부에 침투하는 물의 공급, 즉 동상의 3요소에 관하여 충분히 검토하여 동상 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 비동상성 재료를 사용하는 등 동상대책공법을 적용할 필요가 있다.

기존터널 동결방지대책공법 중 누수 방지대책(그림 1-18)은 주로 기존터널에 이용되며 콘크리트라이닝 배면의 동상 혹은 터널내 고드름 발생방지에 효과적인 공법이다. 이 공법은 복공 표면으로부터 도수층, 단열층, 방화층의 3층 구조로 이루어지는 동결방지대책이나 주로 누수방지를 목적으로 하고 있기 때문에 누수방지공법이라고도 한다.

또한 야간 선로가 폐쇄된 한정된 시간 내에 공사를 가능하게 하기 때문에 기존 콘크리트라이닝을 신설하지 않고 방수판(ARS수지)과 단열재를 공장에서 접착한 것을 콘크리트라이닝 표면에 앵커 볼트로 고정하고 그 후 콘크리트라이닝 표면 전체에 방화코트를 뿜어서 칠하는 구조이다. 이러한 구조 때문에 터널 콘크리트라이닝 배면의 지반을 빙점 이상으로 보온함과 동시에 누수를 방지하게 한다.



<그림 1-12> 기존 터널의 누수방지 공법

1.4 동결피해지역 터널 관리 방안

터널 구조물의 유지관리는 터널이 제 기능을 유지하기 위하여 터널 유지관리 매뉴얼에 따라 정기점검, 정밀점검 및 긴급점검을 통하여 사전에 유해요인을 제거하고 손상된 부분을 원상 복구하여 이용자의 편의와 안전을 도모하기 위해 시행한다. 동결피해 상황을 파악하고 원인을 분석하여 대책공법을 선정하여 조치해야 한다.

【해 설】

터널 구조물의 점검계획(터널 유지관리 매뉴얼, 한국시설안전공단)에 따라 시행하여야 한다. 조사방법은 크게 정기점검, 정밀점검, 정밀안전진단으로 구분할 수 있으며 각 단계별로 개략적인 조사내용은 다음과 같다.

정기점검을 통해 누수 또는 결빙이 발생한 상황에 대한 육안조사를 시행하며 정밀점검을 통해 누수량, 누수지역 온도 조사 등을 실시한다. 정밀안전진단을 통해 누수 또는 결빙이 발생한 위치, 누수량, 누수범위, 탁도, 갱내온도, 필요시 수질검사도 실시한다.

자세한 내용은 한국시설안전공단에서 발행한 터널 유지관리 매뉴얼을 참조한다.

현장조사 및 점검시 겨울철 한랭지역 터널구조물은 동결로 인한 배수구 막힘, 팽창압에 의한 균열이나 과대변위 등을 조사하고 필요시 대책을 논의할 필요가 있다.

<표 1-4> 동결방지 대책공법 선정(시설안전공단, 2001)

선정요인 / 구 분		누수·동결상태[1] / 단면의 여유[2]	선 상		면 상		비 고
			유	무	유	무	
단열공법	홈파기 단열재 삽입공법		○*	○**			*: 한랭정도가 작은 경우에 유효 **: 단열재 폭이 U홈의 폭 이상으로 필요
	표면 단열처리공법		○		○		
	이중 라이닝 단열처리공법				○	○	라이닝 강화가 필요한 경우, 개축과 병용
가열공법	전열난방기, 열관		○				한랭이 심하고 국부적인 누수 경우 (전원이 필요)

주) 1. 누수·동결 상태 :「선상」 - 누수·동결이 선상으로 분포하고 있는 경우
:「면상」 - 누수·동결이 면상으로 분포하고 있는 경우
2. 내공단면의 여유 :「유」 - 라이닝표면에 단열재를 시공할 만큼의 여유량이 있는 경우
:「무」 - 라이닝표면에 단열재를 시공할 만큼의 여유량이 없는 경우

누수대책공법도 동결방지 대책으로 사용되고 있으며 누수대책공법에는 도수공법, 홈파기공법, 지수공법, 뿜어붙임 및 도포공법, 방수판, 방수쉬트, 배면주입공법, 수위저하공법 등이 있다.

누수대책 공법을 적용하기 위한 목적은 누수에 의한 터널의 기능, 갱내 설비의 기능 확보와 안전운전, 작업 환경의 개선이다. 누수의 발생상황을 정확히 조사하여 대책공의 효과, 시공성, 경제성 및 내구성을 고려하여 안전하게 시행하도록 되어 있다.

<표 1-5> 누수에 대한 대책공법(시설안전공단, 2001)

선정요인 / 구 분	누수상태[1]	선 상				면 상				비 고
	누수량	소량		다량		소량		다량		
	단면의 여유[2]	유	무	유	무	유	무	유	무	
선상 대책 공법	도수공법	○	-	○	-	△	-	△	-	
	홈파기 공법	-	○	○	○	-	○	-	○	-U, V컷 공법 -면상대책공법의 전처리로서 시행
	지수공법	△	△	-	-	-	-	-	-	-누수량이 물방울 형성 정도이고 범위가 한정되는 경우 적용 가능
면상 공법	뿜어붙임공법	-	-	-	-	○	-	○	-	-철망, 앵커 및 도수공법 병용 필요
	도포공법	-	-	-	-	△	△	-	-	-누수 정도가 경미할 때만 적용
	방수판	-	-	-	-	-	-	○	-	
	방수쉬트	-	-	-	-	○		○	-	-콘크리트 라이닝 개축 등을 행할 경우
배면주입공법										-토피가 작고 지표수와 우수가 터널배면 공동을 통하여 직접 터널내로 유입되는 경우
수위저하공법										-지하수위가 높은 상태에서 용수나 열차 하중의 반복하중에 의한 지반재료의 배출

주) 1. 누수·동결 상태 :「선상」 - 누수·동결이 선상으로 분포하고 있는 경우
:「면상」 - 누수·동결이 면상으로 분포하고 있는 경우
2. 내공단면의 여유 :「유」 - 라이닝표면에 단열재를 시공할 만큼의 여유량이 있는 경우
:「무」 - 라이닝표면에 단열재를 시공할 만큼의 여유량이 없는 경우
3. ○ : 적용가능한 공법, △ : 경우에 따라서 적용할 수 있는 공법

1.5 동결피해지역 터널 시공시 고려사항

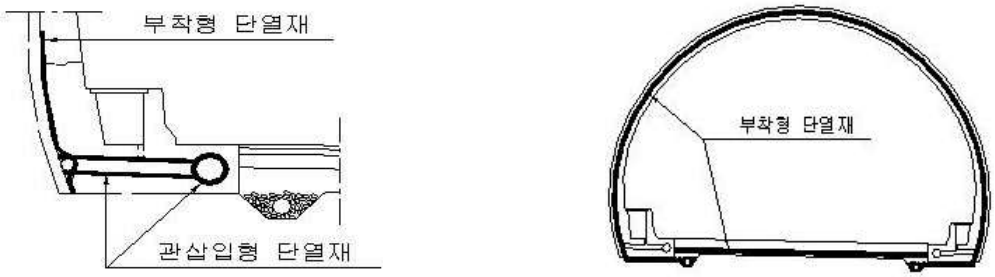
가. 터널 배수시설 시공시 고려사항

1) 동결지역 터널시공시에는 숏크리트와 콘크리트 라이닝의 누수가 발생하지 않도록 품질관리를 철저히 해야 하며 특히 터널 측벽 배수관련 시설에서의 누수와 동결피해 방지를 위한 대책을 수립해야 한다.
2) 2아치 터널의 경우 중앙기둥부에 누수가 발생하지 않도록 특별히 주의하여 시공하여야 하며 가능한 갱구부에는 단열재를 설치하여 누수로 인한 도로교통에 지장을 주지 않도록 조치하여야 한다.

【해 설】

터널의 동결피해 방지를 위해 단열재를 주로 사용하고 있으며 단열재 설치 개념도는 부분 설치하는 방법과 전면 설치하는 방법이 있다(그림 1-13 참조)

단열재 설치는 일부 구간에 설치하는 방법은 터널 외기 유입에 의한 배수관 동결 방지효과에 우수하고 시공성이 간편하고 경제성에서도 유리하나 지반동결선의 영향 범위 산정에 대한 구체적인 기준 설정이 어렵기 때문에 설치하는 방법에 대해서는 시공성, 경제성, 유지관리 측면 등을 종합적으로 검토하여 선정하는 것이 바람직하다.



(a) 단열재 부분설치 (b) 단열재 전면 설치

<그림 1-13> 단열재 설치 예 (한국도로공사. 2006)

2아치 터널 중앙기둥의 경우 터널단면 구조상 좌우측 터널에 비해 터널의 높이가 낮아 터널내 유입수가 집중되므로 누수가 발생하지 않도록 대책을 수립해야 하며 특히, 동결에 따라 반복적인 누수로 인한 시공이음부 또는 중앙기둥부에서 고드름이 발생할 수 있으므로 도로주행시 안전성 확보 차원에서도 단열재 설치를 적극적으로 고려해야 한다.

나. 터널내 동상방지층 설치

한랭지역에 건설되는 터널 갱구부의 바닥부는 동상방지층 설치를 검토하여야 한다.

【해 설】

도로 동상방지층 설계지침(국토해양부, 2012)과 터널내 포장설계 지침(국토해양부 , 2005), 도로공사 표준시방서 및 도로설계기준에 따라 동상방지층 설치 여부에 대해 검토해야 한다.

터널내의 노상은 일반적으로 암반으로 구성되어 동상을 쉽게 일으키는 토질이 아니며, 터널내부는 외부와 달리 온도변화가 적어 일반적으로 동상의 영향이 적다. 그러나, 터널내의 암반의 균열로부터 용수의 발생과 발파로 인한 요철면에 물이 고임에 따라 동상의 원인을 제공할 수 있다. 그리고, 발파면의 요철에 따른 배수처리 불량으로 암반의 풍화에 따른 지지력약화를 가져올 수 있고, 암반에 존재하는 절리, 층리 및 단층대의 존재는 동상을 줄 수 있는 요인이다.

동결의 영향을 고려하는 지역에서는 터널 입출구부 일정구간을 제외하고는 터널내부 온도가 터널외부 온도보다 높아서 동결관입효과가 상당히 감소된다. 그렇지만 터널 갱구부에서는 터널바닥의 요철면에 물고임에 의한 포장층에 대한 동결융해 작용과 펌핑현상을 배제하기 위한 동상방지층 설치가 필요하다.

터널내 포장의 동상방지층 설치는 갱구 입구부로부터 50m까지 설치하고, 출구부는 기후환경 여건을 고려하여 동상방지층을 설치하지 않을 수 있다. 단, 상하행이 분리되지 않은 터널의 경우 양쪽 갱구부 모두 동상방지층을 설치한다.

제 2절 사면 설계 및 시공 가이드라인(안)

2.1 일반사항

본 가이드라인은 사면의 동결·동상방지와 관련한 설계 및 시공관리 지침을 설명한 것으로 향후「동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가관리기술 및 설계시공지침 개발연구」성과에 의해 작성된 결과와 사면 유지관리 매뉴얼 등 별도로 제시하는 지침을 따를 수 있다.

【해 설】

적설이나 동결이 보이는 한랭지의 사면에서는, 이른 겨울이나 융설기에 다량의 지하수침투에 의해, 또 엄동기에는 사면의 빙결과 절리 중에 발생한 빙주에 의한 수압 혹은 암반 내 온도응력의 발생에 의해, 파괴가 발생하는 예가 있다.

융설기에는, 다량의 지하수 침투에 의한 간극수압의 발생이나, 동결해 있던 표층부가 융해하여 강도가 저하함으로써, 사면에서는 표층붕괴·암반붕괴·낙석 등이 발생하기 쉽다. 이러한 재해에 대한 대책으로서는 통상적으로 사면붕괴나 낙석대책에 준하여, 지표배수공·지하배수공이나 사면 보호공 등이 실시되고 있다.

또 엄동기에는, 암반사면이 눈으로 덮여있지 않든지, 암반이 이상 저온이나 극한 기온변화에 노출되면 동결작용이 일어난다. 동결이란, 암체 내의 간극수나 암반사면 내 균열부에 충진되어 있는 지하수가 빙결하는 것을 말하며, 암반 사면의 표면을 0℃이하로 연속해서 냉각하면, 먼저 표면이 빙결하고, 시간의 경과와 함께 동결은 미동결부로 향하여 진행한다. 간극율이 큰 지반이 포화하든지, 함수비가 큰 경우나, 균열 중에 지하수가 있는 경우는 동결하기 쉽다. 균열 중에 빙결이 있으면, 그 팽창압으로 균열이 신장하고, 지하수 배출이 방해를 받으면 배후에 수압이 작용하여 파괴가 발생하기도 한다.

한편 함수비가 낮을지라도, 한랭지에서는 암체의 열변형이 크기 때문에, 사면에 평행한 주상절리와 같은 미소균열이 존재하면, 주상 암체의 표면과 심부의 온도차에 의한 열변형이 발생하고, 응력부식으로 균열첨단의 개구 신장이 완만하게 진행되어, 사면 붕괴에 연결되는 경우도 있다.

더 나아가서는, 동절기를 통해 기온이 0℃상하로 변동하면, 암반의 동결융해가 발생하여 풍화가 촉진되고, 강도저하가 발생하여, 붕괴에 연결되기도 한다.

사면에서의 동결피해 발생요인으로서는, ① 토질, ② 온도, ③ 수분 등을 들 수 있다. 사면의 경우도 기본적으로는 평지와 동일하지만, 동상의 방향(즉 열류의 방향)과 중력방향이 다르기 때문에, 평지와 비교하여 사면의 동상 피해가 오히려 현저한 경우가 많다.

사면에 냉기를 전하는 요인을 정리하면, 사면 상부의 기상 환경(전천 일사량, 기온 및 적설)과, 사면 하부의 지반 환경(지온 및 동결 깊이)으로 크게 나누어진다. 이러한 요인의 1개만이 사면의 동결에 영향을 미치는 것이 아니고, 몇 개의 요인이 이를테면 상호보완적으로 작용하고 있다.

이러한 사면의 동결·동상을 조장하는 제한 요인의 하나가 되는 것이 「사면의 방위」이다. 예를 들면, 동일 조건(장소·시간·공법)에서 시공된 사면일지라도, 방위가 다르면 사면 자체가 받는 일사량이 각각 다르기 때문에, 사면 상부의 냉기(기온)에 차이를 초래하여, 나아가서는 적설 심도나 적설 상황에도 영향을 미친다. 이 때문에, 사면 하부의 지온(동결 깊이)에도 큰 차이를 가져 온다. 따라서, 충분한 일사량을 받을 수 없는 방위를 가지는 사면은, 동결·동상 피해가 발생할 주요 요인이 되므로, 소설 한랭지역에서의 사면 보전상 고려해야 할 중요 사항의 하나이다.

또, 미지형적으로 판단하면, 사면 방위의 차이에 기인하여 동절기의 풍향·풍속(발생빈도)가 적설 깊이나 적설 상황을 크게 좌우한다. 이것은, 사면 자체가 받는 일사량의 문제와는 별도로, 사면 하부의 지온이나 동결 깊이에 직접 영향을 미쳐, 사면의 동결·동상을 촉진시켜 피해를 조장하고 있다.

이상과 같이, 사면 방위나 풍향·풍속(발생빈도)은, 사면의 종합적인 기상·지반환경에 커다란 영향을 미친다. 이러한 인자를 외에도, 사면 주변의 토지 이용 또한, 사면의 동상 피해를 발생시키는 제한 요인의 1개가 될 수 있다. 즉, 주변의 토지 이용에 따라서는 사면 방위의 차이나 풍향·풍속(발생빈도) 관계없이, 사면이 받는 일사를 차단시키든지, 사면상에 충분히 적설 될 수 없는 상황을 일으키든지 하는 경우도 있다.

2.2 사면 동결 피해 사례

1) 적설이나 동결이 보이는 한랭지의 사면에서는, 이른 겨울이나 융설기에 다량의 지하수침투에 의해, 또 엄동기에는 사면의 빙결과 절리 중에 발생한 빙주에 의한 수압 혹은 암반 내 온도응력의 발생에 의해, 파괴가 발생할 수가 있다.
2) 융설기에는, 다량의 지하수 침투에 의한 간극수압의 발생이나, 동결해 있던 표층부가 융해하여 강도가 저하함으로써, 사면에서는 표층붕괴·암반붕괴·낙석 등이 발생하기 쉽다.
3) 함수비가 낮을지라도, 한랭지에서는 년간을 통한 암체의 열변형이 크기 때문에, 사면에 평행한 주상절리와 같은 미소균열이 존재하면, 주상 암체의 표면과 심부의 온도차에 의한 열변형이 발생하고, 응력부식으로 균열첨단의 개구 신장이 완만하게 진행되어, 사면 붕괴에 연결될 수가 있다.
4) 동절기를 통해 기온이 0℃상하로 변동하면, 암반의 동결융해가 발생하여 풍화가 촉진되고, 강도저하가 발생하여, 붕괴에 연결될 수도 있다.

【해 설】

사면은, 안정 구배로 절토되어, 식생공, 사면 격자공 등의 보호공이 일반적으로 시공된다. 이러한 사면에 동결·동상이 발생하면 사면 보호공에 변형이 발생하여 최종적으로는 붕괴에 이르는 경우가 있다.

동절기 격자지보공이나 앵커핀이 지반의 동상으로 들어올려져, 봄에 융해에 의해 지반이 원래의 상태로 되돌아가도, 격자지보공은 들어올려진 상태 그대로 남는 경우가 자주 발생한다 (사진2-3).

동결·동상에 의해 사면 표층이 약화되어, 융설수의 침투 또는 배면 지하수의 영향에 의해 사진2-4와 같이 사면이 붕괴에 이르는 경우가 있다. 사진2-5는 전체적으로 비교적 얕은 깊이의 위치(동결깊이 이내)에서 표층부분이 유동하여 법면에 변형이나 붕괴를 나타내는 것과, 동 사진의 좌상에 보이는 것처럼 지하수와 함께 법면이 푹 패인 상태가 되어 비교적 깊은 위치로부터의 붕괴가 발생한 사례이다.

동상에 의한 절토 소단 배수구의 피해가 많이 보고되고 있다. 사진2-6과 같이 특히 소설 한랭지에서의 피해가 두드러지게 나타나고 있다. 일반적으로 소단 배수구에는 콘크리트 측구가 사용되고 있다. 콘크리트 제품은 유연성이 떨어지기 때문에 동상력을 피할 수 없다. 한랭지이면서 눈이 적은 지역에서는, 사진2-7과 같이 도로측구에 붕괴한 토사가 퇴적하여, 이른 봄 융설수의 배수를 방해하고, 사진2-8과 같이 동결동상에 의한 도로측구의 전도피괴로 배수 기능이 현저하게 저하되는 경우가 빈번히 발생하고 있다. 또한 서쪽을 향하는 사면에서 특히 동해가 다발하고 있으며, 그 때마다 보수 공사가 반복되고 있다.



<사진 2-1> 경량 격자공의 변상 사례



<사진 2-2> 콘크리트제 격자공의 변상 사례



<사진 2-3> 동상에 의해 들어올려진 격자



<사진 2-4> 융설수의 영향으로 붕괴된 사면



<사진 2-5> 융설수의 영향으로 붕괴된 사면



<사진 2-6> 소단의 동상 피해



<사진 2-7> 융설·동결융해에 기인한 사면 붕괴



<사진 2-8> 소사면붕괴와 함께 잔도파괴된 도로 측구

2.3 동결피해지역 사면 설계시 피해저감 방안

1) 사면의 파괴 및 붕괴는 강우에 의한 침투수, 비탈면에서의 용수, 지표수 배수시설의 불량에 기인한 누수 등에 의해 발생하는 경우가 많다. 사면의 장기적인 안정을 도모하기 위해서는 하부, 내부 및 표면에 지하수 배수시설과 지표수 배수시설을 설치하여 침투수 및 용수를 적절히 배수시킬 수 있도록 설계하여야 한다.
2) 동일한 토질 조건일지라도 지하수 공급이 있는 곳과 그렇지 않는 곳에서는 동상현상에 의한 법면의 상태가 크게 다르다. 따라서 법면으로 지하수 공급이 있는 경우나 함수비가 높은 지반에서는, 미리 충분한 배수대책의 검토를 행할 필요가 있다

【해 설】

사면의 경우, 적설 한랭지에서는 융설 시의 붕괴나 동결융해에 따른 박리, 낙석이 문제가 된다고 지적하고 있다. 일반적으로 사면대책공의 계획, 설계에 있어 지반의 동결, 동상을 예상하고 설계를 하는 경우는 드물지만 한랭 지역에서는 특정 조건 하에서 사면을 구성하는 지반 내에 동결·동상이 발생한 경우 융설기뿐만 아니라 동결 기간을 통해 사면 및 사면구조물에 변상, 파손 피해가 발생하고 있다.

본 항에서는 사면 대책공에서 지반의 동결·동상현상에 대한 '억제, 완화 기능'을 갖는 공법과 '억지 또는 변위자체를 흡수하는 기능'을 갖는 공법에 대해 소개하고 각각의 장점과 유의사항에 대해 설명한다.

가. 억제·완화기능을 가지는 공법

(1) 절토공

일반적으로 절토 사면의 표준 구배는 복잡하고 불균일한 지반 성상 외에 강우나 지진 또는 경년적 풍화에 따른 시공 후의 불안정화를 예상한 표준값으로 설계되고 있다. 그러나 이 표준 구배는 전국에서 일률적인 것으로 한랭지에서 빈번하게 일어날 가능성이 높은 동결·동상이나 융설에 따른 사면의 불안정화까지를 예상한 여유를 갖추지는 못한 것이 현실이다.

일반적으로 절토공에서는 사면 구배를 완만하게 할수록 눈이 쌓이기 쉬우며 동결·동상억제 효과를 얻을 수 있다고 한다. 절토공에서 동상대책을 실시한 사례로는 사면구배를 표준값인 1:1.2에서 1:1.5로 변경함으로써 실제로 적설 깊이가 늘어 지반동결 심도가 감소했다는 결과가 보고되고 있다. 이와 같은 구배 설정에는 그 지역의 적설 깊이나 풍향, 풍속 등의 기상조건도 관련되기 때문에 적용할 때는 지역 특성도 충분히 고려할 필요가 있지만 용지상 제약이 없다면 경제적인 방법은 유지관리 측면에서도 유력한 동상대책으로 자리매김할 수 있다.

또한 절토공에서 사면 구배를 검토할 때는 동상 가능성이 높은 토질인지 여부와 같은 점뿐만 아니라 사면의 방향도 고려해야 할 필요가 있다. 특히 남, 북, 북서향 사면에서는 보통 흙이나 점성토라고 해도 1:1.5, 보통 흙에서 동상의 우려가 있는 경우에는 사면

구배를 1:1.5보다도 완만하게 할 필요가 있다고 보고되어 있다. 또한 사면 방위에 따라서 동결 융해를 받기 쉬우며 1:1.2~1:1.5의 구배가 필요하다는 보고도 있다. 사면에서는 적설의 영향을 고려하지 않으면 북향, 동향, 서향, 남향 순으로 동결 깊이가 작아진다고 한다.

이와 같이 똑같은 지질이라도 사면의 방향에 따라 동결·동상이 되기 쉬운 정도가 다른 경우에는 사면의 방위나 적설 상태에 따라 각각 사면 구배를 바꾸는 등과 같은 배려가 필요한 경우도 있다.

사면 구배를 결정할 때는 다양한 사면에서의 시공 실적 등에 따라 설정된 각 기준이나 지침을 기본으로 하지만 적설 한랭지에서는 지반의 동결 깊이나 사면의 방향도 고려하면서 주변 사면에서의 변상, 파손 실태나 예상되는 피해의 정도, 유지보수를 포함한 경제적 비교, 용지상의 문제, 시공성 등을 포함하여 종합적으로 검토하는 것이 중요하다.

(2) 사면 보호공

일반적으로 사면보호공은 식생 또는 구조물로 피복함으로써 사면 침식이나 풍화를 방지하고 안정화를 도모하기 위해 시공되는 것이다. 단 이들 중에서도 동결, 동상을 억제, 완화하는 기능을 가진 공종이 있는데, 일부의 사면보호공(사면 녹화공)의 목적 중 하나로 '동상 붕락 억제'가 추가되기도 한다(표 2-1). 한편 기대하던 효과가 발휘되지 않을 뿐 아니라 사면보호공 자체에 변상이 초래되어 보수가 필요했다는 사례도 있어 동결, 동상에 대한 억제효과를 기대하는 경우에는 각각의 기능과 목적 외에 한랭지에 적용하는 경우의 문제점 등도 충분히 파악한 후 공법을 선정할 필요가 있다.

<표 2-1> 주요 사면 보호공의 공종과 목적

분 류		공 종	목 적
사면녹화공(식생공)	파종공	종자 산포공, 객토 취부공 식생 기재 취부공 식생 시트공, 식생 매트공	침식방지, 동상붕락 억제, 식생에 의한 조기 전면 피복
		식생근공	성토에서 식생을 근상(筋狀)으로 성립하게 함으로써 침식방지, 식물의 침입 및 정착 촉진
		식생토낭(土囊)공 식생 기재 주입공	식생 기반의 설치에 따른 식물의 조기생육 두꺼운 생육기반의 장기간 안정을 확보
	식재공	잔디붙이기공	잔디의 전면 붙이기에 의한 침식 방지, 동토 붕락 억제, 조기 전면 피복
		줄떼공	성토에서 잔디의 근상 붙이에 의한 침식 방지, 식물의 침입, 정착의 촉진
		식재공	식생이나 풀, 꽃에 의한 양호한 경관의 형성
		묘목 설치 취부공	조기 전면 피복과 수목 등의 생육에 따른 양호한 경관의 형성

(가) 사면격자공

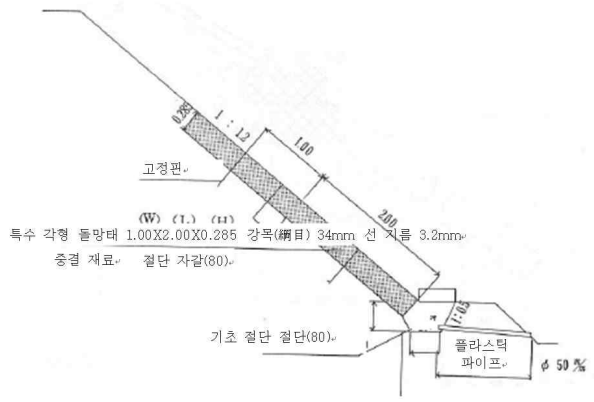
사면격자공에서 경량 격자공을 사용한 사면에서는 지금까지 격자공의 들뜸이나 앵커핀의 빠짐이 발생하는 사례가 많이 보고되어 왔기 때문에 동결·동상 우려가 있는 사면에서는 대부분 사용되고 있지 않다. 한편 프리캐스트 콘크리트제 격자공의 들뜸은 격자높이를 높게 하면 작아진다는 보고가 있다는 점에서 중간부 채움에 따른 단열효과와 함께 동결·동상을 억제하는 기능을 기대할수 있는 경우도 있다. 그러나 동상이 예상보다 큰 경우 등에는 콘크리트제 격자공이라도 변형이 발생하므로 이를 채택할 때는 대상 지역의 각종 조건을 충분히 고려하고 다른 단열공법이나 배수공법 및 동상을 예상한 억지대책과의 조합하는 등 배려가 필요하다.

(나) 돌망태공

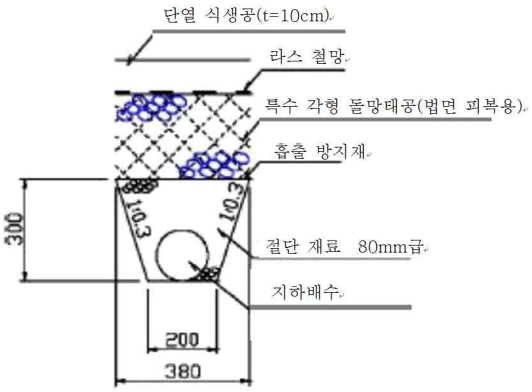
돌망태공은 특히 시공이 비교적 쉽고 배수성도 높다는 점에서 사면 표층부의 변상에 대한 보수나 용수가 많은 사면의 보호 대책으로 사용되는 경우가 많다(그림 2-2). 또 배수성 외에 옥석 등과 같은 충진 재료의 하중에 의해 동상 후의 지반의 되돌림을 추정하는 등과 같은 효과도 기대할 수 있기 때문에 용수가 많고 동결 융해작용이 두드러진 사면이나 사면의 보호대책공으로 사용되는 경우가 많으며 동상방지를 위한 대책공의 하나로 소개하고 있다.

단 이를 채용할 때는 사면 구배나 망태 두께의 결정방법, 충진재를 지지하는 망태재료의 내구성 등, 검토해야 할 과제가 많다는 것도 염두에 둘 필요가 있다.

일본 북해도 동부에 시공 중인 절토사면에서 용수의 동결이 원인이 되어 반팽(盤膨) 피해가 발생했다는 점에서 실제 크기의 실험을 기초로 단열 식생공이라고 불리는 두께 10cm의 기반재 취부와 두께 25cm의 각형 돌망태공의 조합으로 대책을 강구하여 유효한 효과를 얻을 수 있었던 사례가 보고되었다(그림 2-2).



<그림 2-1> 돌망태공에 의한 대책 사례



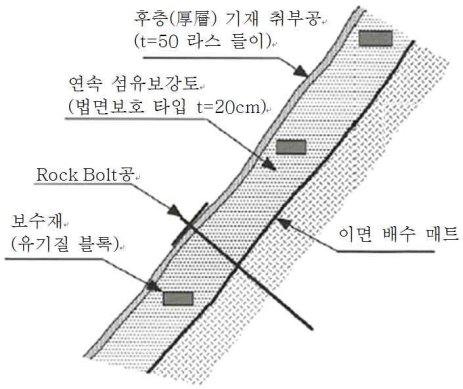
<그림 2-3> 돌망태 + 단열 식생공에 의한 대책사례

(다) 식생공

식물을 이용하여 사면의 표면 침식을 방지함과 더불어 뿌리의 침입으로 표층지반을 구속하는 효과를 기대하는 것으로 직접적인 동결, 동상 방지는 되지 않지만 표층 지반이 식물의 뿌리와 일체화함으로써 융해할 때 발생하는 표층붕괴에 저항할 수 있는 일면도 있다.

(라) 식생기반공

취부 식생기반공 등 중에는 단열효과와 배수성 양쪽에서 동상억제 효과를 기대할 수 있는 것도 있으며(그림 2-2), 취부 두께 등을 현장조건에 따라 연구함으로써 유효해지는 경우도 있다.



<그림 2-2> 연속 섬유보강토를 사용한 피복공에 의한 동상대책의 예

(마) 단열공

단열공으로 분류되는 피복공법은 지반에 냉기가 진입하는 것을 방지하는 것으로 사면 보호공으로 사용되는 경우는 거의 없으며 터널의 동상 대책 등으로 이용되는 것이 일반적이다. 이를 사면에서 이용하게 되면 시공면적이 팽대해지거나 자외선을 직접 받게 되어 경화(재료 열화)가 진행되기 쉬워진다는 이유 때문으로 여겨진다. 그러나 사면에서의 동결, 동상의 주요 요소 중 하나이기도 한 지중 온도를 저하시키지 않는다는 점에서 유효한 동상대책이라고 할 수 있다. 단열공을 채용하는 경우에는 일반적으로 단열

재로서 발포 우레탄 등을 사용하는 것을 고려할 수 있지만 단열효과를 유지하기 위해서는 부분 보수나 재피복을 필요로 하며, 제피복 시 발생하는 폐기물의 처리비를 고려할 필요가 있다는 점도 감안하여 채용의 적합 여부를 종합적으로 검토하는 것이 바람직하다.

특수한 예를 제외하면 일반적인 사면 설계에서 단열재의 두께를 결정하기 위한 정식화된 설계법은 확립되지 않았지만 터널에서의 단열재 두께의 결정방법과 마찬가지로 정상열전도이론을 적용한 최대동결심도 등에서 필요 단열재 두께를 구하는 방법은 그 중 하나이다.

(바) 배수공

일반적으로 배수공은 사면을 불안정하게 만드는 원인 중 하나인 '물'을 가능한 한 사면에 침투시키지 않고, 침투한 경우에도 신속하게 배출시키는 것을 목적으로 설치되는 것이다. 공법은 크게 나누어 지하배수공(지하배수공, 차단 배수공)과 사면 배수공(비탈어깨 내수공, 세로 배수공, 소단 배수공, 비탈 끝 배수공)으로 나눌 수 있다.

사면의 동결·동상현상에서는 '흙 중 물'의 존재가 중요한데 이를 뒤집으면 상기와 같은 배수공에 의해 이 '흙 중 물'이나 '표류수'를 확실하고 적절하게 처리하면 많은 부분에서 동상을 억제하는 것이 가능하다(표 2-2).

단 '지하수'나 '흙 속의 물' 등으로 이루어지는 지반의 수분 상태의 양과 분포는 계절변동이나 연간 변동에 따라 매우 불확정적인 것이다. 그러므로 이를 사전에 정확하게 파악하기는 힘들며 예상 외의 장소에서 예상보다 큰 동상현상이 발생할 가능성이 있다는 것도 염두에 둘 필요가 있다. 또한 본 공법에는 배수관의 파손이나 막힘 등과 같은 유지관리상의 문제도 있기 때문에 동상대책 효과를 기대한 경우라도 배수공 단독이 아니라 다른 공법과 조합하여 사용하는 것이 바람직하다.

<표2-2> 배수공의 동상에 대한 기능과 유의사항

		동상에 대한 기능	유의사항
배수공	사면 배수공	절토를 시공할 때 용수가 확인된 경우에는 우선 실시해야 할 대책이며 동상이 발생할 가능성이 높은 곳에 설치할 수 있는 효과를 기대할 수 있다. 소단 배수는 사면 내 표류수를 될 수 있는 한 지반에 침투시키지 않고 신속하게 배수하기 때문에 시설로서는 유효하다.	·융설 직후의 사면을 관찰하고 물이 베어 나오는 곳에 중점적으로 배치하는 것이 효과적이다. ·비탈 끝 배수공 등의 류말(流末) 처리가 확실하게 이루어지지 않으면 체류된 물이 다시 침투하여 동상의 계기가 되는 경우도 있기 때문에 유의해야 한다. ·소단배수공 주변에서는 동상에 의해 배수구와 실 콘크리트가 들어 올려져 비틀림이 발생한 사례가 많다. ·소단 배수구의 비틀림을 방치하면 융설수 등이 지반으로 유입하는 것을 조장하고 피해를 확대시킬 우려가 있다.
	지하 배수공	비탈 어깨의 차단 배수공의 설치는 배후 사면에서 공급되는 천층 지하수를 사면으로 유입되기 직전에 처리하는 점에서 유효하다.	·배후 사면의 지하수 심도나 수맥 분포가 어느 정도 밝혀진 경우에는 효과적이다. ·차단 배수공은 암거의 설치 심도보다 깊은 물길에 의해 공급되는 지하수에 대

		일반적으로는 암거 배수공이 채용되는 경우가 많다. 또한 지하 배수공은 심부의 지하수가 사면에 베어 나오기 전에 모아서 신속하게 배수한다는 점에서 유효하다.	해서는 거의 효과를 얻을 수 없을 가능성이 있다. 이와 같은 경우에는 별도로 지하 배수공을 계획할 필요가 있다.

나. 억지 또는 변위 자체를 흡수하는 기능을 가지는 공법

여기서 설명하는 공법은 일반적으로 사면 안정화를 목적으로 한 억제 대책공 중에서도 동결·동상변위나 동상력에 의한 변위를 흡수하거나 억제하는 기능을 갖고 있는 대책공법으로 동상이 발생해도 본래의 기능을 훼손하지 않고 사면 전체의 안정을 확보할 수 있다.

(1) 앵커공

당초 설계 시점에서 앵커에 동상력을 예상하고 설계를 한 사례는 적지만 최근에는 실내시험에서 계측되는 동상력의 10%를 예상한 설계방법이 제안되거나, '동상량 예측을 위한 흙의 동상시험 방법'에서 산출하는 방법 등도 제안되어 있다.

지진이나 동상 등에 의해 지압판을 들어올리는 변위를 흡수하는 메커니즘으로는 크게 나누어 '텐돈의 자유길이 부분의 신장 성상에 따라 측정할 수 없는 하중을 흡수하고 구조물의 안정을 도모한다'는 것과 '수압판에 접시 스프링을 배치함으로써 동결에 따라 발생하는 과대한 힘을 흡수한다'는 것이 있다.

전자의 방법에 대해서는 텐돈의 자유 길이와 하중 증가량에 대하여 다음에 나타낸 관계식에서 사용하는 PC강연선이 예상하는 동상량(ΔL)에 대해 어느 정도의 여유가 있는지 확인한 후에 설계에 반영한다.

$$\Delta T = \frac{\Delta L}{L_{sf}} * As * Es$$

ΔT : 앵커 하중 증가량

Δ· : 앵커재 신장량

·sf:텐돈 자유 길이(앵커가 늘어나는 길이)

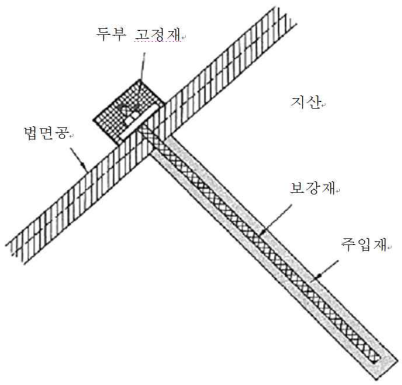
As:앵커재의 단면적

Es:앵커재의 탄성 계수

한편 시공 후 동상에 의해 앵커의 빠짐이나 파단 등이 발생하는 경우도 보고되고 있으며 이에 대해서는 '동상을 일으키지 않게 하는 방법'이나 '동상력에 저항하는 방법' 중 하나에 의해 대응이 이루어지는 듯 하다. 전자는 터널의 단열공법으로서 실적이 많은 우레탄 단열재에 의해 사면 전체를 피복하는 방법이며 후자는 앵커체의 구조 상에서 허용될 수 있는 변위를 허용한 후 나머지 동상력을 예상한 설계를 하고 있다.

(2) 지반보강토공

록볼트 등을 사용한 지반 보강토공(그림 2-5)에 대해서는 앵커공과 마찬가지로 스프링을 통해 동상에 의한 과대한 힘을 흡수하는 구조의 보강공법이 개발되고 있다. 지반보강토공은 전면 부착구조이며 전체 길이도 짧기 때문에 동상 변위에 따른 하중 증가율이 커지게 되는 등의 문제도 있다. 그러므로 동상 가능성이 있는 사면의 억지공으로 사용할 때는 기설 볼트의 파단상황이나 플레이트의 변형 상황 등을 참고하여 억지력(동상량)이나 볼트 길이에 대해 신중하게 검토해야 한다.



<그림 2-3> 지반보강토공의 기본구조 예

2.4 동결피해지역 사면 관리 방안

사면의 유지관리는 사면이 제 기능을 유지하기 위하여 터널 유지관리 매뉴얼에 따라 정기점검, 정밀점검 및 긴급점검을 통하여 사전에 유해요인을 제거하고 손상된 부분을 원상 복구하여 이용자의 편의와 안전을 도모하기 위해 시행한다. 동결피해 상황을 파악하고 원인을 분석하여 대책공법을 선정하여 조치해야 한다.

【해 설】

사면에서 발생하는 동결동상으로 인한 피해의 형태를 정리하면 다음과 같다.

가. 변위 : 사면을 설계하는 단계에서 동결동상에 의한 체적팽창을 외력으로서 평가하지 않기 때문에 구조물에 변형이 발생한다. 변형이 발생하면 구조물에 기대되던 억지 또는 억제 효과가 없어져 사면붕괴로 연결될 수 있다.

나. 이완 : 사면에 대한 이완 작용이 시간의 경과에 따라 반복됨으로써 표층(동결 깊이)의 강도 저하가 진행된다. 강도가 저하되면서 사면의 역학적 안정이 무너져 표층 붕괴로 연결될 수 있다.

다. 물의 공급 : 융해가 일어나면서 물이 상시 공급되면 사면을 구성하는 지반의 역학적 성질이 낮아져 표층 붕괴가 발생한다. 또는 표류수가 되어 침식작용을 일으킨다. 피해를 일으키는 직접적인 원인이 되는 경우가 많다.

동결동상지역의 사면 관리는 변형, 파손이 발생하고 있는 구조물에 대하여 원인이 동결동상에 기인하는지 여부를 밝히고, 대책공법을 검토하기 위한 변위발생 프로세스를

명확하게 한 후 개량의 필요성이나 개량공법을 선정하기 위한 조사가 필요하다.

이와 같이 사면 현황 구조물의 변형, 붕괴원인의 해명이나 현 구조물의 평가를 거쳐 동결동상을 고려한 대책을 실시하기 위해 조사에는 다음 사항을 명확하게 해야 한다.

(1) 변위발생 원인의 해명(원인이 동결동상 현상에 의한 것인가)
· 동결 심도가 깊은가: 기온, 적설 깊이, 사면방위
· 동상이 발생하였는가: 토질, 암질, 지반의 수분상태
· 변위발생 메커니즘: 변위·파손의 발생원인이 동결동상현상으로부터 합리적으로 설명이 가능한가.

(2) 구조물 평가(동상량, 동상력에 의한 평가)
· 동상에 의한 현 구조물의 억제, 억지 기능의 평가 (동결동상현상 이외의 요인에 의한 억제, 억지기능평가도 포함함)
· 동결동상현상의 진행에 따른 현 구조물의 변위, 파손 진행 정도의 평가
· 현 구조물의 보수, 보강 필요성 판정

(3) 대책의 검토
· 억제공: 현 구조의 동결동상에 의한 변위, 파손 상황으로부터, 억제기능 평가에 따른 대책공 검토
· 억지공: 동상량, 동상력을 기근거로 한 동결동상을 고려한 사면대책공 검토

2.5 동결피해지역 사면 시공시 고려사항

가. 시공시의 동결동상 조사

신규 대책사면은 사면의 동결동상성이 불분명하다. 따라서 사면의 동결동상성을 파악한 후 동상량, 동상력을 고려한 설계가 필요하다. 이를 위한 조사항목은 자료조사, 현지조사, 실내 시험으로 구성되며, 표2-3과 같다.

<표2-3> 시공 시의 동결동상 조사 내용 및 조사 목적

항 목	내 용	세부 항목	조사 목적
1) 자료 조사	① 기상관련 조사	기온, 적설깊이	지반동결의 유무 동결심도의 추정
	② 지형 조사	사면방위, 사면구배, 배후지 상황	
	③ 지질 조사	과거 지질조사 결과의 검토 (토층, 토질, 암반)	
2) 현지 조사	① 사면 내의 조사	대상사면의 지질 (토질·암반, 지층구조) 수분(지하수위 확인, 용수 상황·분포 확인)	사면 동결동상성 판정을 위한 현지의 기초데이터 수집 및 실내 시험용 시료 채취
	② 주변 시설 조사	대상사면주변 시설의 변형 확인	
3) 실내 시험	① 동결동상성 판정을 위한 조사	믈리시험(입도, 밀도, 함수비 시험 등), 흙의 동상성 판정 시험	대책공법 선정을 위한 기초적인 토질· 암반데이터, 동상속도의 파악
	② 동결심도 예측을 위한 시험	물리시험(밀도시험, 함수비 시험 등)	
	③ 동상량·동상력 예측을 위한 시험	동상량 예측시험, 일축압축시험	

나. 동결동상성의 판정

동결동상피해지역 사면의 시공 시 동결동상성 판정이나 공법 선정에 대한 기본 방침은, 사면에서 동결동상이 발생할 가능성이 높은가, 발생한다면 어떤 대책 공사를 고려해야 하는가와 같은 두 가지가 중요한 요소이다.

하지만 사면 보호공의 공법을 선정할 때 동상대책을 최우선으로 하여 공법을 결정하는 경우는 거의 없으며 대부분의 경우는 고려되지 않는 것이 실상이다. 그러나 동결동해의 피해를 입으면 사면 보호라는 대책효과가 없어지기 때문에 공법을 선정하기 전에 동결동상발생 가능성에 대해 파악할 필요다.

동결동상발생 판정방법을 정리한 것을 표2-4에 나타내었다. 토사 및 암반사면의 동결동상성 판정으로 표 중의 ①토질, ②수분, ③온도의 3가지 조건이 갖추어지면 동결피해 가능성이 있다고 판단한다. ①~③중 하나라도 해당되지 않는 경우에는 동결피해 가능성이 낮다고 판단되나 ④기타에 해당하고 인근에서 동결피해가 발생한 경우에는 놓친 것이 없는지 주의해야 한다.

<표2-4> 토사 및 암반사면의 동결동상성 판정표

조건	판정 기준			동결 동상성	판정	정합 판정	비 고
①토질	토사사면	실내 동상시험에 따른 동상속도	• 0.3mm/h≦동상속도	고			① 토질, ② 온도, ③ 수분의 모두가 ○인 경우에는 동결동상 우려가 있음 → 상세 검토
			• 0.1mm/h≦동상속도<0.3mm/h	중			
			• 동상속도<0.1mm/h	저			
		토질 시험에 따른 입도 분포	• 세립분(실트, 점토)	고			
			• 세립분이 거의 없음	저			
	암반사면	(a) 호시노(1973)의 암질에 따른 동상성 판정지수	• 신 제3기 중~상부의 연질이고 세립의 이질암 및 응회질암 • 강제건조 상태의 비중이 2.0이하 이며 흡수량 20% 이상인 연질의 이질암 및 세립의 응회질암	고			
		(b)이소다 등(1996) 의 동상성 암반의 판정 지수값	• 포화비중 2.1이하 • 흡수율 15%이하 • P파 전달속도 2.7km/h 이하 • 일축압축강도 50~100MN/m^2	고			
		(c)오노 등(2004)의 동상성 판정지수	• 겉보기 습윤밀도 1.0g/cm^3이하 • 유효간극율 40% 이상 • P파 전달속도 2.7km/h 이하 • 일축압축강도 5MPa 이하	고			
		(d) 쿠사가베 등(2003)의 동상성 암반의 판정지수	• 포화밀도 21kN/m3보다 작음 • 흡수율 15% 이상 • P파 전달속도 2km/s 이하 • 일축압축강도 15MN/m^2 이하	고			
		(a) ~ (d) 중 어떤 것에도 해당하지 않는다		저			
②온도	동결지수 F 가 큼			고			
	동결지수 F 가 작음			저			
③수분	다음 중 하나 또는 여러 개에 해당함		• 지하수가 사면에 지속적으로 공급 되기 쉬운 지형이다	고			
			• 동결하는 심도의 지반자체가 수분을 많이 포함함 (세립분이 많음)				
			• 동상현상에 따른 수분 보급이 용이 (동결심도 아래의 지반이 세립분을 포함)				
④기타	근접한 곳에서 동상 발생이 의심됨 (동결동상에 의해 구조물이 변형하고 있음)		(변형 사례) • 융설 시의 사면붕괴 • 비탈 틀 앵커핀이 빠져 올라감, 배면에 공극 발생 • 지반보강토 보강재의 들뜸 • 그라운드 앵커 두부의 들뜸 • 옹벽의 경사, 전도 • 소단 배수구의 들뜸, 경사 등	고			④ 기타가 ○인 경우 에는 동상 가능성에 대해 재검토한다.

※ ○ : 하나라도 '고' 또는 '중'에 해당
- : '고' 또는 '중'에 해당하지 않음

다. 대책공법의 선정

사면 보호공의 대상이 되는 사면에 동결피해 가능성이 있다고 판단된 경우에는 피해에 따른 영향을 고려해서 대책공법을 선정하여야 한다. 공법 선정에 참고할 수 있는 동결동상성 사면에서의 사면 보호공의 유효성에 대해 다음과 같이 I~III군으로 분류한 시도가 있다 (표2-5)

- I군 : 동결동상으로 인한 사면 보호공으로서의 기능 저하가 적은 공법
- II군 : 동결동상으로 인한 사면 보호공으로서 기능이 저하될 우려가 있기 때문에, 그 영향을 고려하여 채택해야 할 공법
- III군 : 동결피해 사면에서는 채택이 부적당하든지, 특별한 주의가 필요한 공법

하지만 분류된 모든 사면 보호공에 대한 동결동상이 미치는 영향이 공학적으로 해명되지는 않은 상황이다. 그러므로 이 분류가 영구적이 아니라는 점에 대해서 충분히 유의할 필요가 있다.

<표2-5> 주요 사면 보호공의 공종과 동결 피해 사면에서의 유효성

	동결동상성 사면에서의 평가	분 류	공 종
I 군	동결동상으로 인한 사면 보호공으로서의 기능 저하가 적은 공법	사면 녹화공 (식생공)	종자 산포공, 식생 기재 취부공등
		구조물공	울타리공 돌망태공 연속 섬유보강 토공 철망 덮기 섬유네트 덮기
II군	동결동상으로 인한 사면 보호공으로서의 기능이 저하될 우려가 있어, 영향을 고려한 후 채용해야 할 공법	구조물공	프리캐스트 틀공 돌 붙임공 블록 붙임공 취부 틀공 현장치기 콘크리트 틀공 돌 쌓기, 블록 쌓기 옹벽공 정자모양 옹벽공 콘크리트 옹벽공 지반보강토공 그라운드 앵커공 말뚝공
III군	동결동상 사면에서 특별히 주의해야 할 필요가 있거나 채택이 부적당함	구조물공	모르타르 콘크리트 취부공 콘크리트 덮기

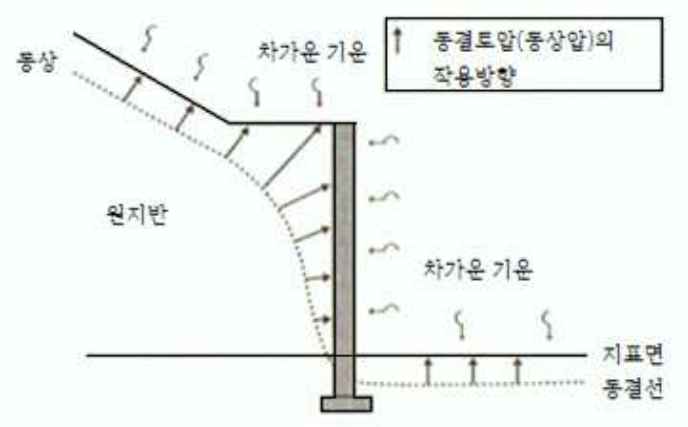
제 3절 옹벽 설계 및 시공 가이드라인(안)

3.1 일반사항

본 가이드라인은 옹벽의 동결방지 지침을 설명한 것으로, 콘크리트 옹벽 및 보강토 옹벽 모두를 포함한다. 본 가이드라인에 규정되어 있지 않은 사항은 향후 개정될 예정인 동결방지 설계기준에 따르거나 별도로 제시하는 지침에 따를 수 있다.

【해 설】

기존의 옹벽 설계와 시공은 실적이 풍부하여 구조물에 문제 발생시 즉각적으로 조치가 가능하였으나, 한랭지에 건설된 옹벽구조물의 동결에 대한 피해사례나 대책공법은 없는 실정이다. 한랭지에 건설된 옹벽은 배면토가 영하로 내려갈 경우 동결현상이 발생하게 되며 옹벽 주변지반 지하수의 동결은 동절기 옹벽 배수 장애의 원인이 되고 구조물에 큰 동결압이 발생하여 심한 경우 붕괴가 발생되기도 한다.



<그림 3-1> 옹벽의 동결피해 메카니즘

따라서, 옹벽구조물에 동결을 고려한 설계 및 시공은 한랭지역 선정이 선행되어야 할 것으로 판단된다. 대표적으로 지역별 기온과 지속기간을 고려하여 한랭지역을 구분하고 한랭지역 선정 후 이 지역에 시공되는 옹벽구조물에 한하여 동결방지 대책을 고려할 수 있다. 동결을 고려하지 않아도 되는 지역에 과다하게 동결방지대책(예를 들면 옹벽에 동결팽창압을 고려한 단면설계)을 적용하면 불필요하게 과다설계가 되어 비경제적이 될 수 있기 때문이다.

한랭지역 선정기준은 추후 별도의 기온측정자료와 분석을 통하여 선정되어야 할 것으로 판단된다. 한랭지역을 선정하고 실험용 옹벽을 구축한 후 배면에 동결면 추이나 온도 등을 계측하여 동결을 고려한 옹벽설계 가이드라인을 설정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

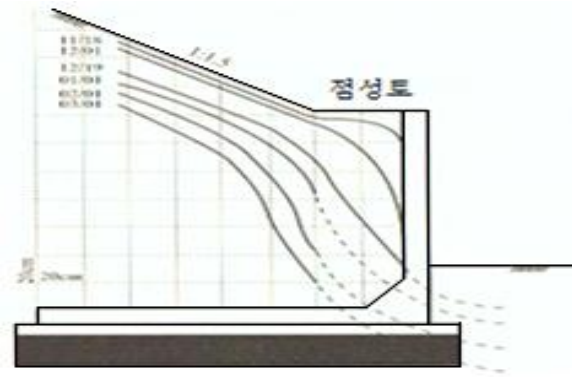
3.2 옹벽 동결 피해 사례/유형

현재까지 국내 옹벽의 동상에 의한 피해사례는 아직까지 보고된 사례가 없으므로 해외 동상피해 사례 위주로 기술하며, 추후 국내에서 한랭지역 등 동결에 의한 옹벽피해 사례를 참고하여야 할 것으로 판단된다.

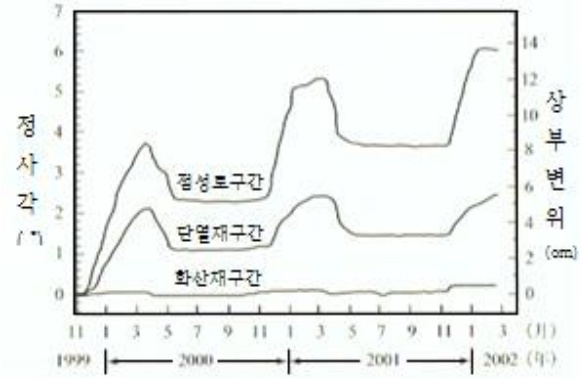
【해 설】

가. 콘크리트 역L형 옹벽

옹벽 배면의 성토가 동결하여 옹벽에 변형을 초래하는 경우가 있다. 기설 콘크리트 L형 옹벽을 실외에 설치하여 검토한 연구에 의하면 옹벽 배면에 상부성토가 존재하는 경우 옹벽면과 성토사면으로부터 동결이 진행되어 옹벽배면의 동결선은 그림처럼 옹벽에 대해 각도를 가지고 형성된다.



<그림 3-2> 옹벽 배면에서의 동결면의 진행



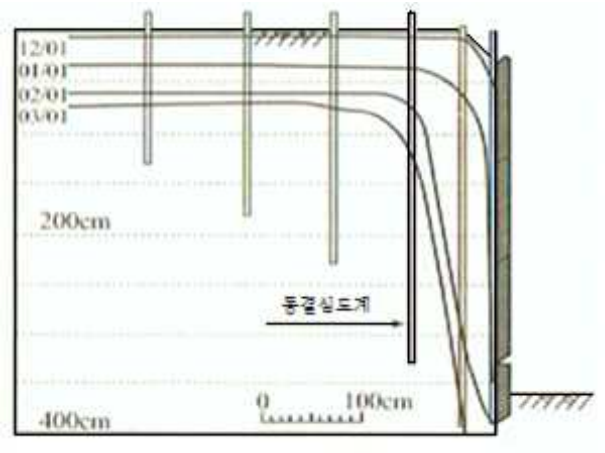
<그림 3-3> 동상에 의한 L형옹벽 벽면 변위

동상이 발생하는 경우 동결선의 형상이 옹벽면의 경사에 가까울수록 동토압이 옹벽에 크게 작용하게 된다. 이 실험에서는 동상성 재료인 점성토를 이용한 경우에 옹벽의 경사가 변위하고 있다. 동시에 옹벽 배면에 단열재를 시공한 경우에서는 경사량(변위량)이 작아지고 있다.

흙의 동상압은 극히 커서 이를 고려하여 옹벽을 설계하는 것은 비경제적으로 현실적으로 곤란하다. 그러나, 일단 변형이 발생하면 그 후의 대책은 많은 노력과 시간을 요한다. 특히 지형적으로 지하수가 들어올 것 같은 곳에서는 옹벽의 동상대책으로서 배면토에 비동상성 토사를 이용하는 것이 확실한 방법이다.

나. 보강토 옹벽 동상피해 사례

시험적으로 설치한 다수 앵커식 보강토 옹벽을 사용하여 동결· 동상이 어떻게 발생하는가를 실험적으로 검토하였다. 수직으로 설치된 벽면재와 수평 성토 표면이라고 하는 단면 조건의 계측에서는 동절기 한기의 영향에 의해 벽면재 표면과 성토 표면에서 동결선이 평행으로 침입하여 동결선은 역L자형으로 발생하였다.



<그림 3-4> 다수앵커식 보강토옹벽(점성토)에서의 동결선의 진행

따라서 벽면재 배면의 흙이 동상성이면 벽면재를 바깥측으로 밀어내려는 동상압이 발생하게 된다. 이 실험에서는 토압(동상압 또는 동상토압)을 계측하여 점성토에서 최대 40kPa의 동상압이 발생하였다. 동상압은 일평균기온이 0℃를 하향함과 동시에 발생하기 시작해 피크는 한파의 피크와 거의 일치하였다.

실제 보강토 옹벽의 피해사례는 일본 장야현의 시도에서 시공완료 후 동절기 동상에 의해 보강재 연결부에 과도한 응력이 작용하여 전면벽체와 띠형 보강재 연결부 파단 및 전면벽체가 탈락한 사례가 있다.



<그림 3-5> 보강토옹벽의 동상피해

좀처럼 없는 사례이지만 시멘트 고화재로 개량된 흙을 재료로 한 대상(帶狀)금속재에 의한 보강토 옹벽에서 벽면재의 탈락이 보고된 사례가 있다. 이 현상은 벽면에 가까운 개량토가 오랜 기간에 걸쳐 열화되고 한기에 의해 열화 된 개량토가 동결하여 일부 보강재와 벽면재의 결합부를 파손시켰다고 추측되었다. 이러한 경우의 대책으로서는 동결범위를 비동상성 재료로 치환하는 것이 확실한 방법이다.

다. 앵커식 옹벽 동상피해 사례

사면 표층부에서 동상이 발생하면 앵커로 지반의 변위를 억제하고 있기 때문에 지압부분에는 커다란 동상력이 작용한다. 일본 북해도 동부의 도로 사면에서 강봉의 앵커가 파단되어 튀어나온 사례가 보고된 바 있다.

계측결과 300kn이상의 동상력이 앵커에 작용한 것으로 나타났다. 이 현장조건에서는 대략 75kN/m2의 동상압이 작용한 것으로 판단된다. 완전히 변위를 구속한 실내동상실험에서는 300~1,500kN/m2의 동상압이 계측되어 현장계측과는 수배의 격차가 있지만 토질 및 구속상태의 차이로 판단된다.

그라운드 앵커에 과잉의 동상력이 작용하면 최악의 경우 앵커의 파단 등 피해가 발생한다. 이러한 현상에 대한 대책으로서는 적당한 공법이 없는 것이 현실이다. 향후 동상에 의한 표층지반 변위의 반복을 흡수할 수 있는 앵커의 개발이 필요할 것으로 기대된다.

3.3 동결피해지역 옹벽 설계시 피해저감 방안

가. 옹벽 동결방지 단면 설계

옹벽구조물은 활동, 전도, 지지력 등 외적안정을 만족해야 하고 보강토 옹벽은 외적안정 외에 보강재의 인장 및 인발파괴에 저항하는 내적안정 기준에도 만족하여야 한다. 한랭지 동결을 고려한 옹벽구조물은 동결팽창압을 추가하여 안정검토를 할 수 있으나, 동결팽창압은 외국(일본)의 사례를 참조하거나 향후 국내에서 한랭지 실험용옹벽 계측결과 등을 토대로 추가 연구를 수행하고 그 결과를 적용할 수 있다.

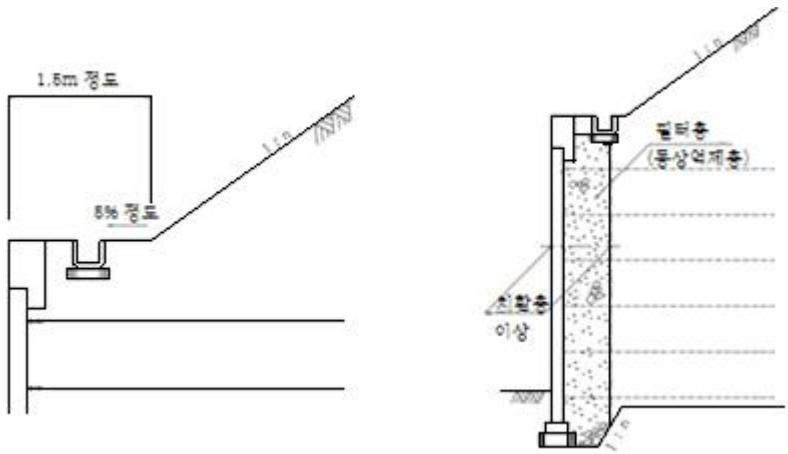
【해 설】

(1) 참고자료 : 일본 국토교통성 북해도개발국 도로설계요령, 제7장 옹벽 (2012)

직접기초의 근입심도는 원칙적으로 0.5m 이상, 기초하면의 동결영향을 고려하여 심도를 설계기간 10년의 치환두께 이상을 적용하여야 한다.

동상피해를 방지하기 위해 기초하면 동결영향깊이 이상 근입 할 필요가 있다. 동결영향 근입심도는 실측치와 경험적 방법으로 제안한 식에서 기온자료를 구해 동결지수를 참고하여 결정한다. 도내 표준치는 0.5~1.1m 정도이다.

보강토 옹벽은 벽체 상단부 표면수 배제를 위하여 그림과 같이 배수공 설치를 표준으로 한다. 성토체에 침투수를 배수시키고 동결시 벽면재 손상을 방지하기 위해 벽면재 배면에 치환두께 이상으로 자갈 등 필터층(동상억제층)을 설치한다.



<그림 3-6> 표면배수공과 배면 동상억제대책

(2) 동결을 고려한 옹벽구조물 설계시 옹벽배면에 작용하는 동결팽창압을 어떻게 산정하느냐가 핵심인 바, 해외에서도 이론적으로 정립된게 없고 계측결과 등을 참조하여 설정하였으므로, 국내에서도 추후 동결팽창압 산정 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

나. 옹벽 설계시 피해저감 방안

한랭지역에 설치된 옹벽 구조물중 명백히 동결피해가 예상될 경우 동결방지 대책을 적용할 수 있다. 동결방지 대책은 옹벽배면에 치환공법이나 단열공법의 적용성을 검토할 수 있다. 치환공법이나 단열공법 적용시 공법 선정기준이나 방향은 추가로 구체적인 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

【해 설】

(1) 치환공법

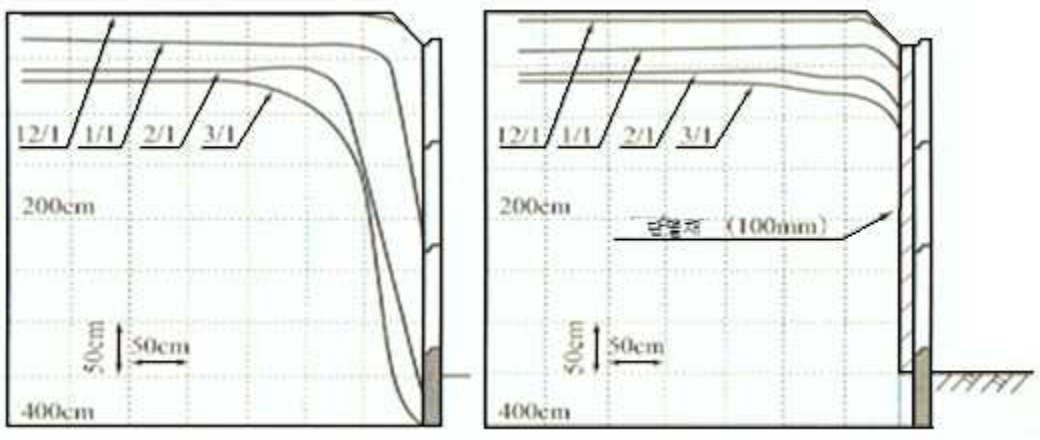
보강토 옹벽의 동상대책에 관해서는 북해도개발국에서도 동상 대책공이 기준화되어 있다. 기준에 의하면 벽 배면 치환두께는「치환두께 이상」으로 제시되어 있지만 이론최대 동결깊이의 70%(=도로본선의 치환두께) 이상을 말한다.

실제로는 시공상의 편의 때문에 배면 치환두께에 관해서는 치환두께가 1.0m를 넘지 않는 곳에서는 일률적으로 1.0m로 시공하는 경우가 많다.

(2) 단열공법

치환공법 이외에도 그림과 같이 콘크리트벽 배면에 판상의 단열재를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우의 동절기 동결선의 추이를 비교한 실외실험결과를 분석하였다.

단열재가 벽 배면토의 동결을 억지하고 있어 동결선의 형상으로부터 단열재를 설치한 경우에는 동결토압(동상압)이 옹벽 상부에만 작용하고 있어 벽면에 대한 동상 방지대책으로서 단열공법도 충분히 효과가 기대되는 것으로 보고되고 있다.



<그림 3-7> 옹벽배면의 동결선의 추이

(3) 위 치환공법과 단열공법은 일본의 설계기준과 실험데이타를 참고로 하였으므로 국내 실정에 맞게 치환공법과 단열공법은 재정립한 후 적용할 수 있다.

3.4 동결피해지역 옹벽 관리 방안

옹벽의 유지관리는 건설된 옹벽이 제 기능을 유지하기 위하여 정기점검, 정밀점검 및 긴급점검을 통하여 사전에 유해요인을 제거하고 손상된 부분을 원상 복구하여 이용자의 편의와 안전을 도모하기 위해 시행한다. 겨울철 한랭지역 옹벽구조물에 대해서도 유지관리를 시행하여 동결에 의한 피해를 조사하고 대책공을 마련할 수 있다.

【해 설】

가. 옹벽의 점검계획 (옹벽 유지관리 매뉴얼, 한국시설안전기술공단)

옹벽의 점검계획은 자료조사와 현장조사로 나눌 수 있다.

자료조사는 설계도서, 시방서, 사진, 재료시험, 유지관리자료, 관련계산서 등을 활용하고, 현장조사는 옹벽구조물의 침하, 경사, 활동, 균열, 박리/박락, 세굴, 철근노출, 백태, 배수공 상태, 파손 및 손상, 마모/침식 등의 항목을 조사한다.

점검의 종류는 위에서 전술한 자료조사와 현장조사를 기본적으로 시행하되, 정기점검과 정밀점검, 긴급점검, 정밀안전진단으로 나눌 수 있으며 상세한 내용은 한국시설안전기술공단에서 발행한 옹벽 유지관리 매뉴얼을 참조한다.

현장조사 및 점검시 겨울철 한랭지역 옹벽구조물은 동결로 인한 배수구 막힘, 팽창압에 의한 균열이나 과대변위 등을 조사하고 필요시 대책을 논의할 필요가 있다.

나. 옹벽의 점검(진단) 후 조치방안

옹벽은 개별시설물보다는 복합시설물 중 하나의 부재 성격이 강하므로 옹벽 및 기타 시설물에서 발생된 각종 결함에 대한 보수·보강은 다음 사항을 원칙적으로 하여 우선순위를 정한다.

- 보수보다 보강을 우선으로 한다.
- 중대 결함사항을 우선적으로 고려한다.
- 전체시설물에서의 우선순위 결정은 각 시설물이 가지는 중요도, 결함의 심각성 등 을 종합검토 후 단기, 중기, 장기로 구분하여 우선순위를 결정한다.

한랭지 동결피해를 받는 경우에도 적절한 보수·보강을 고려할 수 있다.

동해에 대한 보수·보강공법 (옹벽 유지관리 매뉴얼, P 212)

배면토 내부의 수분이 추위로 인하여 서서히 동결하여 그 팽창압력에 의해 옹벽 구조재료에 손상을 입히는 경우로 보강토 옹벽 보강재 등은 특히 고려해 볼만하다. 동상의 발생에는 온도와 물, 토질의 3가지 요소가 필요한데 이중 대책이 용이 한 것은 토질이며, 배면토의 치환공법 등을 적용할 수 있다.

3.5 동결피해지역 옹벽 시공시 고려사항

가. 뒷채움재 품질기준

옹벽 배면에는 다짐이 용이하고 원활한 배수가 이루어질 수 있도록 양질의 조립토를 사용하여야 한다. 한랭지역에 동결피해가 예상되는 옹벽의 뒷채움재는 동결로부터 보호하기 위하여 자갈 또는 모래와 같은 비동결 재료를 적용할 수 있다.

【해 설】

(1) 뒷채움재료의 품질기준(참조 : 도로의 동상방지층 설계지침, 2012.8, 국토해양부)

구 분	기 준
골재최대치수 (mm)	100 이하
유효입경, D_{10}(mm)	0.1 이상
0.08mm (%)	8 이하
2mm (%)	45 이하
소성지수 (%)	10 이하
모래당량 (%)	20 이상
수정 CBR (%)	10 이상

동상은 세립분이 특성과 골재입도의 영향을 받으며, 세립분의 특성으로 0.08mm 특성과 소성지수 특성이 있다. 0.08mm 통과량이 많으면 연약화되어 재료의 전단강도가 떨어지고 동결에 대한 영향을 받는 지역에서는 동상을 일으키기 쉽다.

일반적으로 입상재료는 투수가 양호할수록 동상방지의 효과는 커지게 되므로 뒷채움재료는 투수성이 양호한 재료이어야 한다.

소성지수는 흙의 공학적 특성에 영향을 미치는 주요한 인자이다. 소성지수가 클수록 동상이 증가하는 것으로 나타났으며 소성지수가 10%보다 큰 재료는 동상이 급격하게 증가하므로 동상방지층 재료의 소성지수 기준은 10%이하가 되어야 한다.

0.08mm 통과율 특성과 아울러 조골재의 함유율 또한 동상 및 투수 특성에 주요한 영향을 미치며 조골재의 함유율이 많을수록 투수성이 양호하므로 동상의 영향을 적게 받는다. 조골재의 함유율 특성에서 2mm 이하 통과율은 45% 이하가 되어야 하며 골재의 유효입경 D10은 0.1mm 이상이어야 한다.

(2) 도로의 동상방지층 재료기준으로 동결피해가 예상되는 옹벽의 뒷채움재료에도 적용성을 검토할 수 있다.

나. 배수시설 시공시 고려사항

동결지역 옹벽시공시 배수불량이 동결발생의 가장 큰 원인이 될 수 있으므로 배수가 철저히 될 수 있도록 시공한다. 특별히 배수가 문제될 경우 드레인보드를 설치하여 원활한 배수가 되도록 시공한다. 기초공은 동결심도 이상 근입시켜야 한다.

【해 설】

(1) 배수시설 시공시 주의사항

배수파이프는 옹벽전면 되메움선보다 높게 계획하여 옹벽배면의 배수처리에 유의하여야 하며, 필요시 드레인보드의 설치를 고려하여 원활한 배수가 되도록 한다.

한랭지역에서 유입량이 많을 것으로 예상되는 경우에는 배수관 직경을 크게 하거나 설치간격을 줄일 수 있다.

보강토 옹벽의 배수처리 및 뒷채움흙의 유출을 방지하기 위하여 전면벽 배면에 자갈배수/필터층을 두께 0.3m 이상 설치하여야 한다. 또한 뒷채움재의 유출을 억제하기 위하여 필요시 뒷채움 잡석층과 보강토체 사이에 분리용 부직포를 일정깊이 이상 설치 적용할 수 있으며, 이 경우 자갈층의 배수 및 필터 성능을 고려하여 자갈 배수/필터층의 두께를 0.15m까지 감소시킬 수 있다.

(2) 전면벽체의 기초공

보강토 옹벽의 전면벽체는 기초지반내로 최소 0.5m 이상 근입되어야 한다. 경사지반의 경우에는 0.6m 이상이어야 하며, 적정 근입깊이 확보를 위해 벽체전면에 폭 1.2m 이상의 소단설치 등을 시공한다. 기초지반이 동상피해가 예상되는 경우 동결심도 이상 근입시켜야 한다.

제 4절 기초 설계 및 시공 가이드라인(안)

4.1 일반사항

본 가이드라인은 구조물의 하부기초의 동결방지와 관련한 설계 및 시공관리 지침을 설명한 것으로 향후「동결지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가관리기술 및 설계시공지침 개발연구」성과에 의해 작성된 결과와 터널 유지관리 매뉴얼 등 별도로 제시하는 지침을 따를 수 있다.

【해 설】

통상적인 깊은 기초를 비롯하여 얕은 기초는 동결심도 이하의 땅속에 시공하기 때문에 동결에 의해 큰 문제가 발생하지 않은 것으로 알려져 있으며 또한, 기초는 땅 속에 가려져 있기 때문에 문제가 발생해도 그 문제점을 발견하기 쉽지 않다.

국토해양부 제정 “구조물 기초 설계기준”에도 “기초의 깊이는 지반의 동결 깊이보다 깊어야 한다.”라고 명시하고 있다. 일본의 건축기본법 시행령에서도 “건축물의 근입깊이(기초의 깊이)는 매트기초에서 12cm 이상, 연속기초에서는 24cm 이상으로 하고 동시에 동결심도보다는 깊은 것으로 하고, 기타 동상방지를 위한 유효한 조치를 강구할 것”으로 정하고 있다.

통상적인 건축물이나 지중에 매설되는 토목구조물의 기초의 경우에는 이러한 규정을 지키고 있지만, 가건물, 펜스 및 표지판과 같은 경량구조물과 같은 경우에는 이러한 기준이 지켜지지 않아 동결로 인한 여러 가지 문제가 발생할 수 있다. 또한, 기초 콘크리트를 타설할 때, 찬대기에 노출될 경우에 콘크리트에 동해가 발생할 수 있다.

동결로 인한 기초에서 발생할 수 있는 여러 가지 문제점들을 살펴보고 이에 대해 적절한 대책을 본 가이드라인에서 제시하고자 한다.

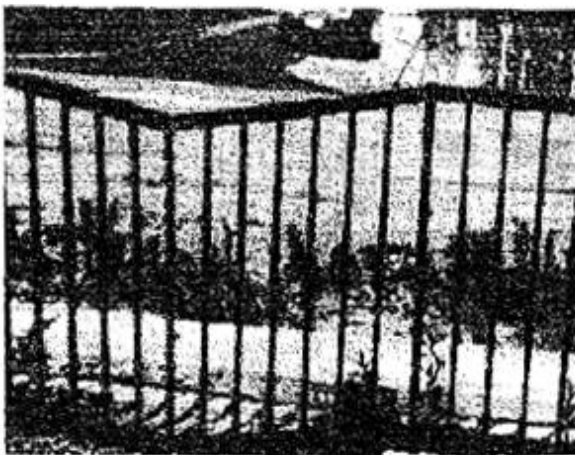
4.2 기초 동결 피해 사례/유형

1) 한랭지에 건설된 구조물 기초가 동결로 인해 기초부상, 동착동상, 접촉동상으로 인해 상부구조물의 변형, 기초의 균열파손 등의 문제가 발생할 수 있다.
2) 기초 콘크리트 및 시멘트 페이스트 타설/주입시에 대기에 노출되는 부위나 동결심도 이상의 지반접촉 부위에서 콘크리트 동해가 발생할 수 있다.
3) 한랭지에서 강관말뚝을 항타시공할 경우에 저온 취성파괴가 발생할 수 있다.

【해 설】

가. 기초 동결피해 및 유형

우리나라 보다 훨씬 북쪽에 위치한 일본의 홋카이도는 동상현상이 일반적으로 인식되고 있으나 건물구조물 자체가 동상피해를 받는 것이 아니고 펜스와 같은 경량구조물 등의 변형에 의한 피해사례가 보고되고 있다. 일반적인 건물구조물의 경우에는 관련 법이나 기준에서 명시한 대로 기초를 동결심도 이하로 시공하고 있고 중량 구조물이기 때문에 동결에 의해 뚜렷한 피해사례는 보고되고 있지 않으며 또한, 지중에 시공된 기초의 피해여부를 발견하기 쉽지 않다.



<사진 4-1> 동상에 의한 펜스의 변형



<사진 4-2> 동상에 의한 목조주택의 변형

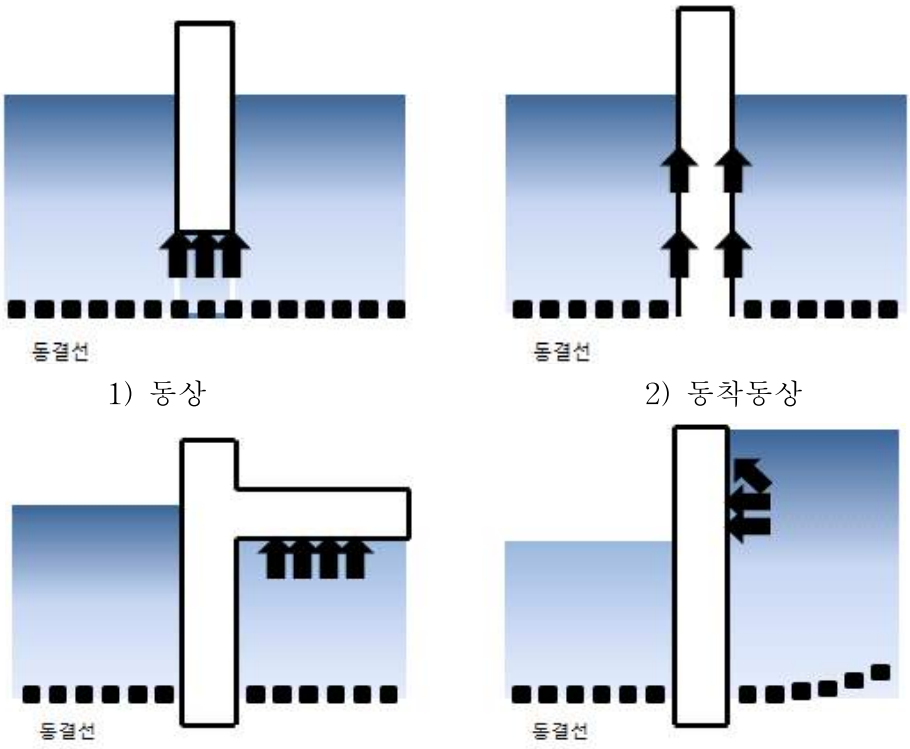
사진 4-2는 기초와 연결된 기둥부위와 지표면이 노출되어 있어 찬 기온이 기초에 그대로 전달되어 심각한 기초의 동상현상이 발생하여 기초부가 융기하고 기울어진 예이다. 이렇게 기초부를 노출시키는 것 보다는 지반단열공법에 의하여 기초부위로 전달되는 찬 열을 차단시켜 주는 것이 좋다.

건축물의 동결피해 유형으로는 그림 4-1에 나타낸 다음의 4종류가 있다.

(1) 건물의 기초저부가 동결심도보다 위에 있기 때문에 바로 밑에서 위로 밀치고 올라오는 동상
(2) 기초저면은 동결심도보다 아래 있지만 동상이 기초측면에서 얼어붙어 지반의 동상과 동시에 위로 밀고 올라오는 동착동상
(3) 기초에 직접콘크리트가 접하고 있고 이 콘크리트 아래 흙에서 동상이 발생하고

직접콘크리트의 동상과 동시에 기초도 위로 올라오는 접촉동상

(4) 기초의 한쪽면이 대기에 노출되어, 그 배면토가 얼어 위로 또는 수평방향으로 밀어 넘어뜨리는 측면동압



1) 동상　　2) 동착동상

3) 접촉동상　　4) 측면동압

<그림 4-3> 건축물 기초의 동결피해 유형

그림 4-3 2)의 동착동상을 방지하기 위해서는 기초주변의 복토를 동착성이 작은 모래자갈 등으로 교환하고 동시에 배수를 양호하게 하는 것이 유효하다. 3)의 접촉동상은 현관입구나 주차장입구 등의 건물에 접촉하고 있는 콘크리트의 동상에 의해서 발생하므로 콘크리트 아래를 동상성이 없는 모래자갈 등으로 교체한다. 현관입구의 콘크리트와 지표면 사이에 공간을 두고 건물의 기초와 콘크리트의 연결을 자르는 등의 대책이 있다.

(5) 측면동압의 경우에는 상부밖에 측면에서 동결이 진행하므로 옹벽배면에 동상성이 없게 배수가 양호한 모래자갈 등으로 교체할 필요가 있다. 이러한 2)~4)의 동상에 대해서도 단열공법을 이용하면 모래자갈 등으로 교환범위를 대폭 감소할 수 있다.

흙이 동결하면 반드시 동상이 일어난다는 것은 아니다. 또한, 건축물의 경우에는 도로 등에 비해 보다 안전측으로 고려하고 동결심도를 기준으로 동상에 대하는 기초심도를 결정하고 있다.

나. 기초 콘크리트 동해

일반적으로 기초는 동결심도 이하의 땅속에 시공되기 때문에 동해가 발생하지 않는 것으로 인지되고 있지만 타설된 기초의 콘크리트가 찬 대기에 노출되거나 동결심도 이상의 지반과 접촉하는 경우에는 콘크리트에 동해가 발생할 수 있다(사진 4-3 참조).

콘크리트의 동해는 육안으로 식별이 될 수 있는데 사진과 같이 콘크리트 표면에 침상무늬가 있고 해빙시 콘크리트 내부의 동결된 물이 흘러나오며 콘크리트 표면 백화현상이 발생한다.



<사진4-3> 콘크리트 동해발생 사례

4.3 동결피해지역 기초 설계시 피해저감 방안

가. 기초의 깊이는 동결깊이보다 깊어야 한다. 나. 동결심도가 깊은 지역에서는 단열공법을 사용하여 동결심도를 저감할 수 있으나 이때도 기초는 저감된 동결심도 보다 깊이 설치하여야 한다.

【해 설】

가. 동결심도의 결정

국토부제정 “구조물기초설계기준”의 설계일반에서 기초동결에 대해 “기초의 깊이는 지반의 동결 깊이보다 깊어야 한다”고 규정하고 있다.

국내의 기준에는 동결심도를 구하는 방법에 대해서만 설명하고 있지만 일본의 기준에는 동결피해를 예방하기 위한 지역별 건물 기초와 건물에 연결된 급수관의 매설심도에 대한 지침을 제공하고 있다.

국토해양부에서는 지구온난화의 영향으로 우리나라 겨울철 평균온도가 상승하고 있고 동결에 의해 피해가 감소하고 있다는 보고를 근거로 2012년 9월 14일자로 “도로 동상방지층 설계지침”을 제정하였다.

다음에서는 일본의 건물에 대한 동결심도 결정방법과 우리나라의 변경된 동결심도의 변화를 기술하였다.

(1) 일본의 건물에 대한 동결심도

동결심도는 지중온도가 0℃가 되는 위치까지 지표에서의 깊이로서 정의 되고 기온 등 기상조건이 토질 및 급수률에 의해 지배된다. 적설도 일종의 단열재의 역할을 하므로 동결심도가 큰 영향을 받는다. 동결심도를 구하는 것에는 실측에 의한 것이나 다음 식으로 개략치를 추정할 수 있다.

$$Z = C\sqrt{F}$$

여기서, Z는 동결심도(cm), F는 동결지수(℃일), C는 계수

같은 시군구내에서도 장소에 의해 온도가 다르므로 경험적으로 이것보다도 깊은 기초가 시공되는 경우도 있다. 또한 건축물에 대한 동결심도와 급수관리매설용 동결심도는 다르다. 후자의 경우 도로아래 매설되는 지표가 제설되면 아스팔트포장 및 쇄석시공에 의해서 지표부근의 함수률이 작아지는 것 등의 이유로 동결심도가 다르게 된다. 급수관의 경우 동상이외에 동결도 고려할 필요가 있기 때문에 지반의 동상성이 없어도 동결심도보다 깊게 매설할 필요가 있다. 일본의 대표적 한랭지인 홋카이도에서 건물에 대한 동결심도 및 급수관매설깊이 예를 표 4-1에 나타낸다.

<표 4-1> 건물에 대한 동결심도 및 급수관 매설깊이

도시명	건물에 애한 동결심도*1 (cm)	급수관 매설심도*2 (도로, cm)
삿포로	60	120
아사히카와	60~100	140
하꼬다데	50	120
오비히로	100	150(보통), 180(모래자갈, 사질)
기타미	100(모래자갈), 120(화산재)	150

*1 : 주택금융공고 : 목조주택공사공통 시방서(홋카이도판)
*2 : 일본수도협회 홋카이도지방지부 : 한랭지의 급수장치설계·시공지침

(2) 국내 동결심도의 변화

국토해양부가 최근의 국내 기온변화를 고려해 2012년 9월 14일에 제정한 “도로 동상방지층 설계지침” 중 설계동결심도를 구하는 방법은 다음과 같다.

ㄱ) 동결지수 및 동결기간 축소 (2.2 설계동결지수)
① 지점별 동결지수 및 동결기간이 축소(당초 30년 기상자료 중 추위가 가장 심하였던 3년치의 평균값에서 20년 기상자료 중 추위가 가장심하였던 2년치의 평균값으로 변경)

ㄴ) 설계동결깊이 (2.3 설계동결깊이)
① 한국형 동결깊이 예측식 : $Z = C\sqrt{F}$
* Z:설계동결깊이(mm), F:설계동결지수(℃・일),
C:동결지수에 따른 보정상수

설계동결지수(F) (℃·일)	0이상 100미만	100이상 200미만	200이상 300미만	300이상 400미만	400이상 500미만	500이상 600미만
C값	27.3	30.2	35.6	42.1	48.1	53

② 설계동결깊이는 최대동결깊이의 75%를 적용 : 설계동결깊이=0.75×Z

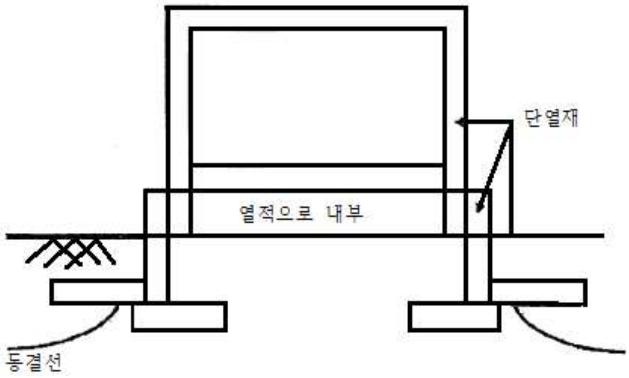
ㄷ) 동상방지층 설치 여부 판정기준(제3장)
① 흙쌓기 높이를 고려한 설치기준(3.2절)
- 2m 이상 흙쌓기 구간에서 동상방지층 생략
② 지하수위를 고려한 설치기준(3.3절)
- 동결면으로부터 물이 공급되는 지하수위의 높이차가 1.5m 이상인 경우에는 동상방지층 생략

③ 노상토 특성을 고려한 설치기준(3.4절)
- 0.08mm 통과율이 8% 이하일 경우 동상방지층 생략

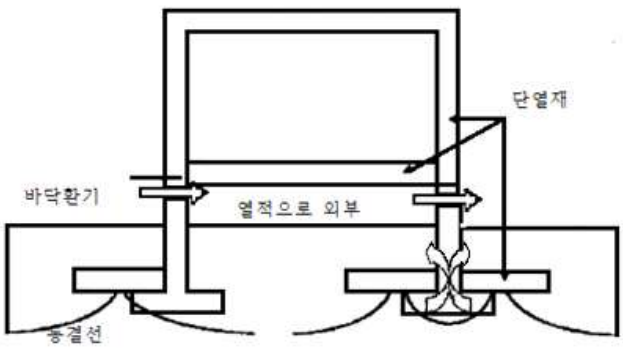
(2) 지반단열에 의한 동상방지

나. 건축물의 지반단열

동결심도가 깊은 지역에서는 다량의 잔토처리 및 굴착 시 주변에 대한 배려가 필요로 하고 기초공사에 많은 비용이 든다. 이 때문에 북유럽 및 북미에서는 지반을 단열하여 동결심도를 저감하려는 연구가 행해지고 있다.



<그림 4-4> 지반단열에 의한 동상방지



※ 기초주변을 단열해도 기초콘크리트를 따라서 열이 빠져나가기 때문에 그다지 효과가 없다.

<그림 4-5> 바닥단열에 적합한 지반단열

건축물의 지반단열에 의한 동상방지는 그림 4-2에 나타난 것처럼 건물의 단열효과도 포함해서 기초부면을 확실하게 단열재로 덮어 기초주변의 지반 온도저하를 방지한다. 따라서 건물이 난방되는 온도가 높게 보호되면 건물 단열성능이 낮아도 동상방지효과가 얻어지지만, 난방하지 않는 경우에는 기초주변만이 아니라 건물의 단열성능이 중요하게 된다. 그림 4-3 우측에 나타난 기초와 같이 기초의 양측을 단열해도 기초의 콘크리트는 열을 전달하기 쉬우므로 기초에서 열이 달아나서 충분한 효과를 얻기 어렵다.

원래 지반단열의 발상은 예전 북유럽 지역에서 시작하였다. 북유럽지역 주택에서는 벽 외측에 눈을 쌓아올려 단열층으로 하고, 건물의 중간을 따뜻하게 하면 벽은 얼지 않고 동시에 동상에 의한 건물피해가 없는 것을 경험으로부터 알게 되었다.

1950년대 초에는 지반단열에 대한 실험이 시작되고 그 때 연구결과로서 기초의 외측에 단열하면 실내에서 기초, 슬라브를 통해서 지반으로 빠져나가는 열이 동상방지효과가 있다는 것을 얻었다. 그 후 컴퓨터 시뮬레이션으로 기초의 우각부에서 넓게 단열의 필요성이 명확해졌다. 또한 1970년대 초에는 노르웨이에서 많은 연구예산의 도움으로 실험 및 예측방법의 기술향상이 이루어졌다.

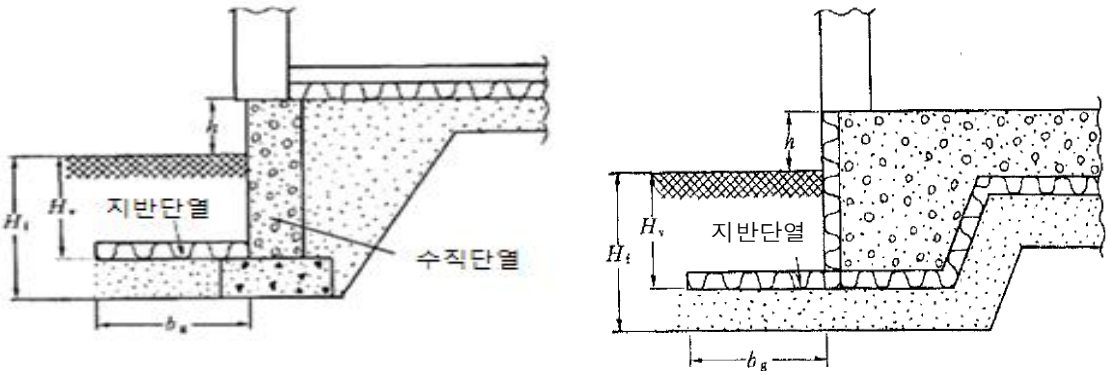
지반단열은 1967년 스웨덴 건축기준법 중에 삽입되었고 노르웨이에서는 1973년 핀란드에서는 1978년에 적용되었다. 그 후 100만호 이상의 주책은 북유럽국가에서 건설되었지만, 동상장해가 일어난 사례는 없고 현재에서는 주택은 물론 저층 사무실 건물에서도 이 방법이 일반적으로 적용되고 있다.

지반단열에 이용되는 단열재는 미국에서는 단열재로의 수분침투에 의한 성능저하가 작은 점을 고려해서 XPS(압축법 발포폴리스틸렌)가 일반적이다. 북유럽에서는 40년 가깝게 XPS 또는 EPS(Beeds법 발포폴리스틸렌)가 사용되고 있다. 노르웨이 공대의 도어 교수에 의하면 노르웨이 국내에서는 기본적으로 XPS 또는 Rockwell이 사용되고 있다고 하고, 방수처리 등의 특별한 단열재 상부의 보호처리는 하지 않고 그 상태로 수중에 매립한다고 한다. 단, Rockwell의 경우에는 공극재료이므로 확실하게 배수가 되도록 단열재 하부에 배수층을 반드시 설치해야한다. 핀란드에서는 단열재의 수분침투에 관한 방호책으로서 당초 단열재 상부에 방습하고 있지만, 그 효과에 관한 실험을 행한 결과, 방습한 쪽이 다소 양호하지만 비용 및 공사방법을 두고 행할 정도로 차이가 나지 않는다는 결론에 달하였다.

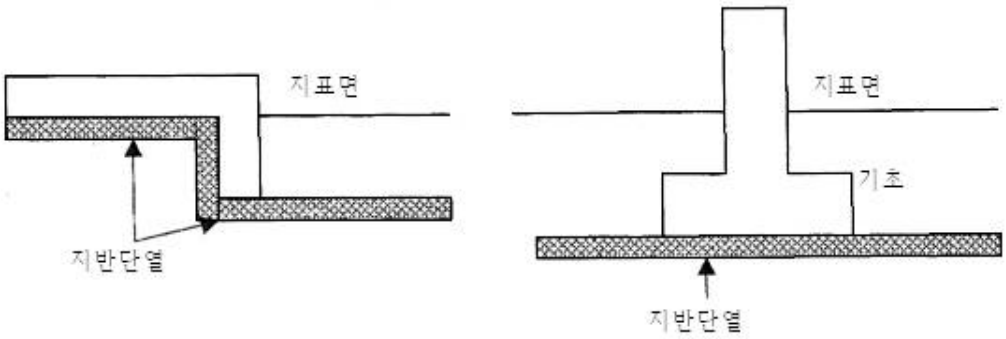
다. 지반단열 관련 ISO 규격

2001년 ISO13793 Thermal performance of buildings-Thermal design of foundations to avoid frost heave가 제정되었다. ISO 규격에서는 건물이 난방 되는 것을 전제로 하고 있다. 우선 기본적인 지반단열방법이 그림 4-4와 같이 표시되고, 기초의 우각부 및 일반의 기초벽 부분, 비난방공간의 부위에 대해서 동결지수를 패러미터로서 기초의 깊이(그림 Ht), 단열재의 성능, 지반단열의 폭(그림 bg)이 표시되어 있다. 동절기에 온도가 5℃이하가 되는 건물의 경우(일본에서는 주택 바닥에 상당)에는 그림 4-5과 같이 시방이 나타나고 단열의 폭 등이 같은 사양으로 나타난다. 그러나 이 사양은 단열재에 건물의 하중이 걸리므로 강도 부분에서 일반적으로 채용하는 것은 어렵다고 생각된다.

또한 이러한 그림 이외의 사양이 검토될 수 있도록 규격화 된 수치계산법, 경계조건, 지반의 물성치를 표시하고 있다.



<그림 4-6> 난방을 하는 건물의 지반단열 예(ISO 13793)



<그림 4-7> 난방을 하지 않는 건축물의 지반단열 예(ISO 13793)

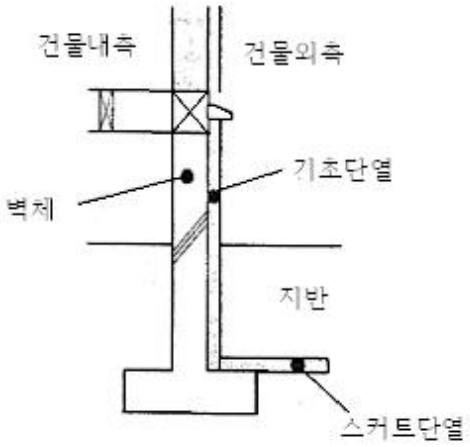
라. 스커트 단열(skirt thermal insulation)

일본의 대표적 한랭지인 홋카이도에서는 기초공사에서 잔토처리 및 비용의 저감을 목적으로 기초부근 지반의 동결심도를 저감하는 지반단열 설계방법을 "스커트단열공법, 설계·시공매뉴얼"로서 1997년에 정리하였다. 일본에서 설계방법을 정리하는 사이 이미 ISO 규격안이 발표되었지만, ISO안은 적설의 단열효과를 무시하였다. 적설의 단열효과는 크며, 이것을 무시하면 적설지역에서 지금까지 운용되고 있던 지역에서의 동결심도도 크게 달라지는 점이 있다. 이러한 이유 등으로 인해 홋카이도에서는 스커트 단열공법을 채용하여 홋카이도의 기후특성 및 주택의 단열성능을 근거로 하는 독자 설계자료를 작성하게 되었다. 국내도 스커트 단열을 적용하기 위해서는 국내 기후와 건물의 형식과 난방형태 등을 고려하여 ISO 규격안에 적절한 수정을 하여야 할 것이다.

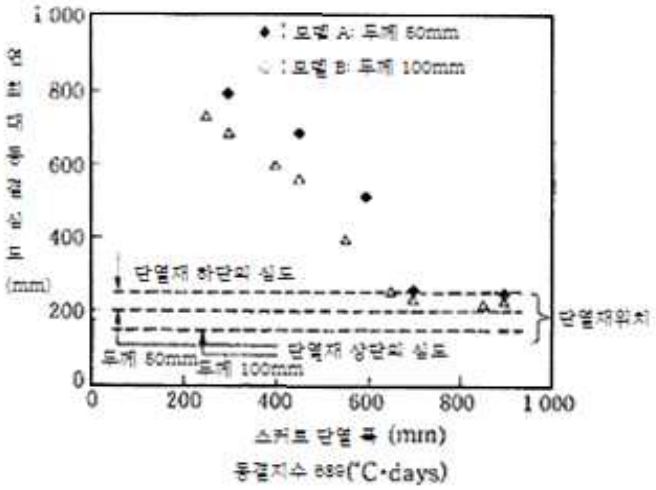
스커트단열의 폭과 두께 및 동결지수의 최대동결 심도에 미치는 영향을 그림 4-7, 그림 4-8에 나타내었다. 동결지수가 증가하면 그 평방근에 비례하도록 동결심도는 깊게 되었다. 스커트단열의 폭이 넓어지면 동결심도가 얕게 되고 스커트 단열을 설계상에 폭의 설정은 중요한 요소가 되고 있는 것을 알 수 있다. 또한 그림 4-7에서 스커트 단열의 두께가 100mm와 50mm의 경우에는 동시에 동결심도가 되는 스커트 단열폭에 대략 50mm, 최대 100mm 정도의 차이가 있는 것을 알 수 있다.

또한, 동결심도는 기온(동결지수)만이 아니라 적설의 영향도 크다. 홋카이도내의 각 시군구 건축물에 대한 동결심도를 조사해 보면 최대적설량이 클수록 동결심도가 얕아지는 경향을 볼 수 있다. 이 동결심도는 약 20년간 주택 기초의 동상에 대한 어떤 문제

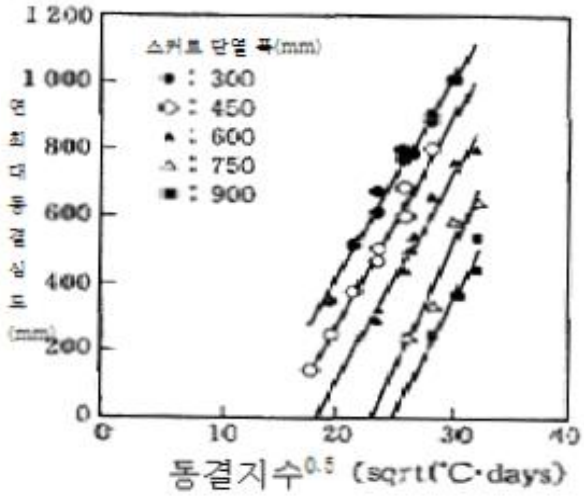
없이 운용되고 있으므로 적설 등의 기후조건 및 지반의 성질 등의 요소를 포함한 각 지역의 특성에 합치한 것으로 고려할 수 있다.



<그림 4-8> 스커트(치마) 단열

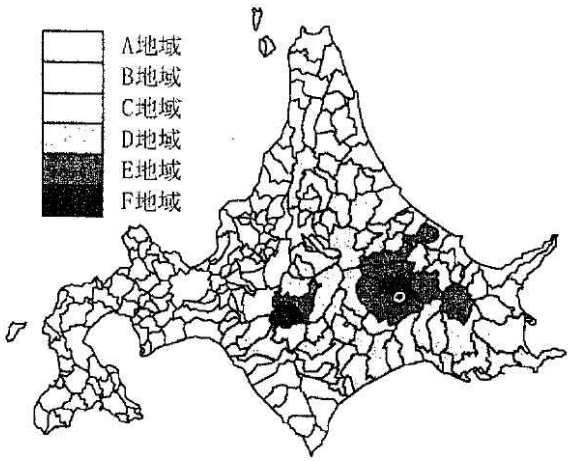


<그림 4-9> 스커트 단열 폭, 두께와 동결심도의 관계



<그림 4-8> 동결지수・스커트단열 폭과 동결심도의 관계

일본의 “스커트 단열공법, 설계·시공 매뉴얼”에서는 동결지수 이외에 다설지역에서는 적설 효과도 고려하는 것으로서 홋카이도를 그림 4-10과 같이 A~F의 6개 지역으로 분류하고 이들 지역에 대해 적용부위별로 스커트단열의 폭을 결정하는 조건표를 제공하고 있다. A지역은 가장 온화한 지역으로 설계용 동결심도가 500~600mm의 지역이 주를 이루고 있다. 또한 C지역은 설계용 동결심도가 600~800mm인 지역으로 한랭이지만 적설양도 많은 홋카이도 중앙 지역을 많이 포함 한다. F지역은 가장 한랭한 지역이다.

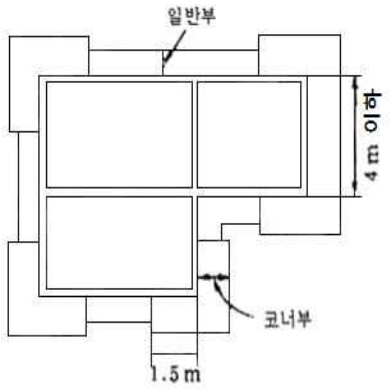
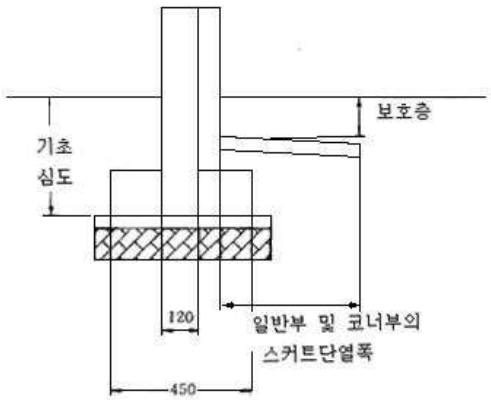
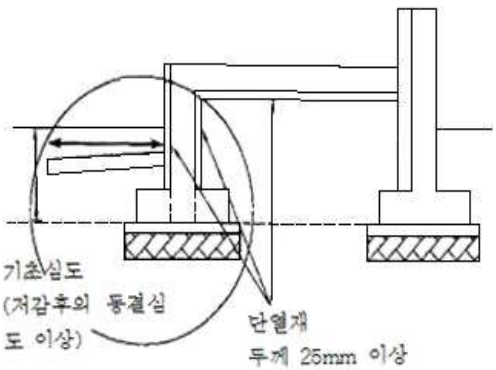
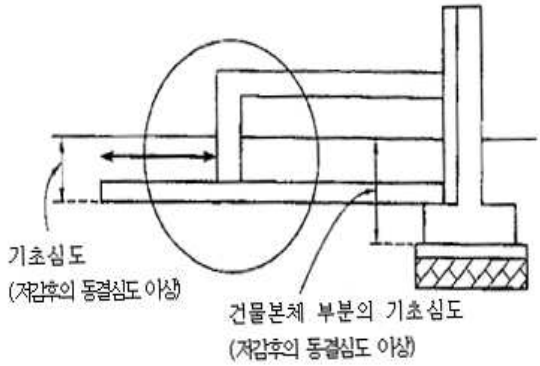


<그림 4-10> 스커트단열 설계를 위한 지역구분 예(일본 홋카이도)

<표 4-2> 스커트단열의 폭을 결정하는 조견표

기초심도 (동결심도) (mm)	적용부위 구분	스커트단열의 폭, 길이(mm)					
		지역구분					
		A	B	C	D	E	F
400	①	300	300	450	600	700	
	②	300	450	600	750	900	
	③	450	600	750	900	1050	
250	④	550	700	800	950	1100	
500	①		300	300	400	500	600
	②		300	400	600	750	900
	③		450	600	750	900	1050
450	④		550	700	850	1000	1100
900	①					300	300
	②					450	600
	③					600	750
750	④					750	900

스커트 단열의 두께 및 종류에 대해서는 압출법 폴리스틸렌폼 2종, 두께 50mm 상당 이상인 단일 규격으로 하여 보다 간단한 설계방법이 되도록 하였다. 또한, 동일한 건물의 기초에서도 기초의 직선부분과 우각부분 등의 부위에 의해서 또는 단열재의 시공방법에 의해서 동결심도가 다르다. 이 때문에 각 부위와 단열방법에서 기초를 다음 표와 같이 ①~④의 적용 부위 구분에 의해 분류하고 각각 적용부위구분에 응한 최적설계가 가능하도록 하고 있다. 적용부위구분 ①은 주택거주부분의 기초 직선부분, 적용부위구분 ②는 주택거주부분의 기초 우각부 등이다. 또한 ③은 현관, 베란다에 적용할 수 있다.

적용 부위	부분명칭 개요	
①	일반부 ②,③,④ (코너부, 현관, 베란다, 차고 등) 이외의 부분	
②	코너부 우각부 부터 1.5m 이내의 부분. 우각 사이의 간격이 4m 이내의 경우에는 그 사이 부분도 코너부로 간주한다.	 (단위 : mm) 기초의 치수는 표준적인 값임
③	현관・베란다(2) 현관과 베란다 부분 (해당부분의 기초 내측에 단열재를 시공하고, 기초판이 열교(heat bridge)가 되는 것)	적용부위 구분③ 
④	본 구조물의 힘을 받지 않는 현관 베란다의 기초 현관, 베란다부에서 2개층 이상의 하중이 걸리지 않는 기초	현관・베란다 적용부위구분 ④ 

4.4 동결피해지역 기초 시공시 고려사항

가. 동결가능성 조사, 기초바닥의 재료선정 및 시공 시 고려사항

(1) 기초를 시공하는 지반이 동상에 의한 문제를 일으킬 수 있는 조건인지 조사하여야 한다.
(2) 기초를 시공하는 바닥면은 원할한 배수가 이루어지고 동상을 일으키지 않은 재료로 적절히 시공하여야 한다.

【해 설】

(가) 기초바닥 지반의 동결가능성 조사

기온이 영하로 되어 흙 속의 물이 어는 작용이며 모관작용 등에 의하여 연속적으로 지하수가 상승하여 얼음층을 형성하는 현상을 지반의 동결작용이라 한다. 흙 속의 온도분포는 동상에 큰 영향을 주며 지표면의 온도, 지하수의 온도, 흙의 열적성질, 함수비, 흙 입자의 크기, 모관작용, 투수성 등에 따라 다르다. 실트질이 많은 흙에서 동상이 많이 생기며 동상이 생기기 어려운 토질은 GW, GP, SW 및 SP 등이다.

암석에서는 이암, 혈암 등이 동상을 일으키는 경우가 있다. 동상의 3요소는 토질, 온도, 토중수이며 동상 방지대책은 지하수위 저하, 비동상성, 토질로 치환, 지하수위 상부에 조립토에 의한 차단층 설치 등이 있다. 한랭지에서는 동상에 의하여 지반, 도로의 노면, 구조물 등이 솟아오르는 경우가 있다.

(나) 기초바닥의 시공

① 재료

기초바닥면은 동결가능성이 높은 실트질 흙을 다음의 재료로 치환하여야 한다.

ㄱ) 기초 조약돌은 직경 10 ~ 15cm 정도의 자연석 또는 쇄석으로서 세장하거나 연약한 돌을 함유해서는 안된다.

ㄴ) 기초 막자갈은 직경 100mm 이하의 막자갈 또는 쇄석으로서 편평성, 세장석이나 유기불순물 등을 함유하지 않은 것이라야 한다.

ㄷ) 기초용 모래는 강모래, 바다모래 또는 부순모래로서 점토, 실트 및 기타 유해물을 함유하지 않은 것으로서 10mm 체를 전부 통과하고 0.08mm체 통과량이 10% 이하이어야 한다.

② 기초바닥 고르기

ㄱ) 지내력이 감소되지 않도록 흐트러진 상태의 흙을 제거하여 원지반에 기초가 설치되도록 한다.

ㄴ) 터파기한 바닥면은 인력으로 지반고르기를 시행하되, 소정의 기초 바닥면보다 깊게 파지 않도록 주의하고, 터파기가 더된 부분은 수급인 부담으로 빈배합의 콘크리트 또는 잡석 등 비 압축성 재료로 채워 소요지내력 이상이 되도록 해야 한다.

ㄷ) 건축공사에서 점토, 실트 및 풍화토층에 지지되는 지내력 기초로 시공되는 경우 지하수 등에 의하여 흐트러지거나 약화될 우려가 있고 기초시공이 곤란한 경우에는 소정의 두께로 잡석을 깔고 공극부위를 틈막이 자갈로 채워 다짐을 하여야 한다. 이때 잡석 및 자갈의 최대크기는 4.5㎝ 이내로 하며, 실험실 최대 건조밀도의 95%이상 다짐을 실시해야 한다. 이 경우 시험실 최대 건조밀도는 KS F 2312, 현장 다짐밀도는 KS F 2311의 시험방법에 따른다.

ㄹ) 공동주택의 벽식구조에서 기초 높이가 상이한 경우(단지는 건물제외) 기초판의 인접거리와 높이에 따라 기초판 사이의 지반 띄움거리와 경사각을 "붙임. 그림 1"과 같이 되게 한다. 기초시공 여건상 위와 같이 시공할 수 없을 때는 별도 지반보강방안을 수립하여 시공도를 작성하고 승인을 받아 보강 시공한다.

ㅁ) 기초바닥 정리가 완료된 후에는 우수나 지하수로 인해 지반이 취약해지지 않도록 가능한 빠른 시일 내에 후속공정을 착수하고 배수로 조성과 양수작업을 할 수 있도록 한다. 또한, 터파기 후 빠른 시일 내에 후속공정을 착수할 수 없는 경우 눈이나 비 등으로 인한 지내력 저하방지를 위하여 비닐 등을 덮어 보양한다.

③ 잡석지정

ㄱ) 잡석지정의 깊이는 연약지반의 지지력에 의하여 결정하되, 최대깊이는 2m 이하로 한다.

ㄴ) 잡석지정에 사용되는 기초잡석은 변질될 염려가 없는 경질의 잡석 또는 조약돌로서 입경 5~15㎝의 대·소알이 적당한 입도로 혼합된 것으로 한다.

ㄷ) 잡석의 한층 두께는 30~40㎝를 표준으로 하며, 실험실 최대 건조밀도의 95% 이상 다짐을 실시해야 한다.

ㄹ) 잡석포설시 지하수위가 높거나 용수 등으로 잡석이 분산 또는 유실되어 지반 개량에 악영향이 우려될 경우는 승인을 받아 토목섬유(부직포) 등으로 보강해야 한다.

ㅁ) 잡석으로 기초지반을 치환할 경우 재하시험으로 지내력을 확인한다.

나. 기초의 동상방지를 위한 고려사항

(1) 대기에 노출되었거나 동결선 이상의 지반에 접하는 기초의 콘크리트를 타설·양생할 때에는 적절한 보양조치를 취해야 한다.
(2) 동절기에 강관말뚝을 항타시공하는 경우에는 저온취성파괴가 발생하지 않도록 조치하여야 한다.

【해 설】

(가) 동절기 콘크리트의 양생

기 시공되어 있는 콘크리트 구체에서는 동결로 인한 피해는 잘 발생하지 않으며 시

공 중에 동상이 주로 발생한다. 동절기에 기초 콘크리트를 타설할 경우 기초구체에 발생하는 동상을 방지하기 위한 한중콘크리트의 보양방법은 다음과 같다.

① 한중 콘크리트의 양생관리

ㄱ) 초기 경화시간 중에 동결하지 않도록 부직포 등으로 덮어 외기 영향 최소화

ㄴ) 양생 중 보호막 내의 온도는 10 ~ 20℃ 유지

ㄷ) 최기 양생 온도별 양생시간

양생기간이 경과하여도 시방의 강도기준에 적합지 않은 경우, 보양 유지

양생온도	양생기간	비 고
10 ~ 15℃	96시간(4일)	양생시간은 타설 종료시간부터 산정
15 ~ 20℃	72시간(3일)	

ㄹ) 각 부위는 온도가 일정하게 유지되도록 하고, 특히 가장자리의 난간벽·측벽·강재 거푸집 부위 등이 온도가 떨어지지 않도록 유의

ㅁ) 발열장치의 열에 의해 콘크리트내의 수분이 과다하게 증발되거나, 거푸집의 건조로 인한 콘크리트 수화작요에 저해가 없도록 비닐 보양·살수 등 실시

ㅂ) 양생기간 중 급열장치의 갑작스런 가동중단으로 동해 또는 온도 쇼크에 의한 균열발생이 없도록 관리

ㅅ) 거푸집 탈형시에는 급열장치의 온도를 서서히 내리고, 바람이 심하게 부는 경우네는 탈형 금지

ㅇ) 거푸집 존치기간 준수

㉠ 시방기준에 의거 존치하되, 거푸집 해체는 탈형 확인용 공시케를 별도제작 판단(공시체는 양생온도상 가장 불리한 위치에 배치)

㉡ 거푸집 제거시 급격한 온도변화에 따른 균열방지

② 양생 및 보양

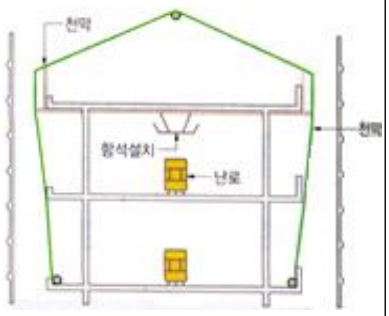
ㄱ) 콘크리트의 치기 승인

콘크리트 치기 전에 보온에 필요한 비닐, 보온포, 천막지, 난로, 연료, 온도계 등이 콘크리트 타설부위에 운반, 설치되어 있는지를 확인

ㄴ) 콘크리트 치기

㉠ 일 최저기온 4 ~ 1℃ : 천막지, 부직포 등 보양재 준비

㉡ 원칙적으로 외기온도 0℃ 이하에서는 콘크리트 치기 금지

최저기온 4 ~ 1℃	천막지 덮기 등 가벼운 보온조치	
최저기온 0 ~ -3℃	보양재 이용 보온조치와 건물외부 보온막 치기 및 급열장치 가동	
최저기온 -3℃ 이하	급열장치 본격 가동	

ㄷ) 보양시설 설치

㉠ 콘크리트 면고르기 후 즉시 덮어야 하며, 흙손으로 발자국 등을 지우면서 덮어나옴(치기 완료 후 일괄 덮기 지양)

㉡ 콘크리트 보양은 비닐·보온포 순으로 덮으며, 외부 보온막 치기 시 비계파이프, 로프 등으로 보온틀을 설치하고 천막지로 직하층까지 밀실하게 덮음.



외부 보양사례



내부 보양사례



트러스 이용 보양사례

<그림 4-11> 보양사례

㉢ 철근 배근 후 콘크리트 탄설 전까지 천막지 또는 비닐 등으로 덮어, 이물질 또는 눈 등이 벽체 하부로 들어가는 것을 방지

ㄹ) 급열장치

㉠ 급열장치는 전기스토브, 가스버너, (석유)나로 등을 사용

㉡ 난로는 최저기온을 고려한 타설 가능온도를 유지할 수 있는 수량 설치(측세대는 1대 추가 설치하며, 외부에 근접되게 설치)

㉢ 급열기는 콘크리트 치기 전에 불때기를 시작하며, 특히 거푸집면 벽체 하부에 얼음, 성에 등이 있을 경우 상당시간 전부터 불을 떼어 완전히 녹은 상태를 확인 후 콘크리트 치기를 시행

㉣ 급열기는 거푸집이 건도되거나 일부분이 집중저으로 열을 받지 않도록 급열기 상부에 함석 등을 충분히 띄우고, 하부에는 방화기능이 있는 보양판을 설치 후 바닥으로부터 30cm 정도 띄워서 설치



갈탄난로



석유난로



열풍기

<그림 4-12> 급열장치 예

㉤ 급열장치의 사용연료가 갈탄, 석유류인 경우 배기연통을 설치하여 가스에 의한 중독이나 콘크리트 중성화 방지 조치

㉥ 갈탄 등을 사용하는 난로 가동시 열풍기를 동시에 가동치 않도록 함(상하 공기혼합에 의한 질식 우려)

※ 최근에는 거푸집에 마이크로파 발생장치를 부착하여 거푸집 자체에서 발열이 가능하도록 하도 혹한기에도 콘크리트 양생이 용이하도록 한 공법이 국내에서 개발되었으며 콘크리트 양생품질 및 경제성을 검토하여 적용할 수 있을 것으로 판단됨.



다접점 자동온도 기로계 설치사례



일반 온도계 설치사례

<그림 4-13> 온도계 설치사례

ㅁ) 수분증발 방지

㉠ 콘크리트 표면은 비닐을 밀착 부착하여 수분증발 억제

㉡ 건조상태가 있을 경우, 물뿌리기 등으로 습윤 양생

ㅂ) 온도관리

㉠ 최저, 최고 온도를 측정할 수 있는 다접점 자동온도 기로계 설치 권장

㉡ 바닥에서 1m 높이

③ 말뚝머리부의 동상방지

시멘트 페이스트 또는 콘크리트가 주입/타설된 매입말뚝이나 현장타설 말뚝의 경우 동결심도 이상의 지반에 시공된 말뚝머리부는 동해를 입을 수 있다. LH 공사 전문시방서에는 시멘트 페이스트가 주입된 매입말뚝의 경우 지표면에 노출된 말뚝머리 부에 대하여 다음과 같이 보양하도록 하고 있다.

ㄱ) 시멘트페이스트를 사용하는 파일동절기공사 시행시 천막지+부직포(5㎜이상)를 1겹 이상 설치하고 열원을 설치하여 24시간 이상 가열보온양생하여 시멘트페이스트가 얼지 않도록 관리하여야 한다.

ㄴ) 동절기 말뚝공사 시공전 파일 및 지표면이 얼지 않도록 부직포 등으로 보양 하여야 한다.

ㄷ) 동절기 매입말뚝(S.I.P.)의 가열보온양생기간은 골조공사 동절기 가열보온양생기간을 따른다.

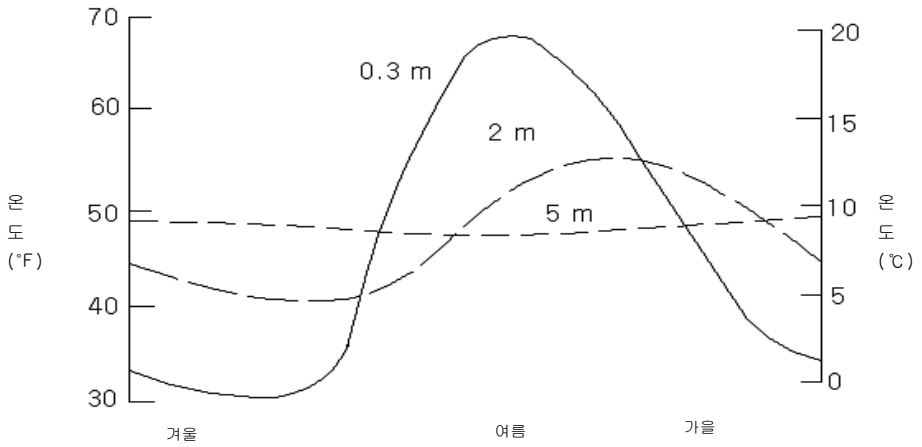


<그림 4-14> 매입말뚝의 보양사례

하지만, 말뚝이 동결심도 이하로 시공되었거나 말뚝 시공 후에 동결심도 이상에 시공

된 말뚝머리 부를 절단하여 사용하지 않을 경우에는 별도의 보양이 필요 없다.

그림 4-14는 우리나라랑 비슷한 캐나다 오타와의 계절별 지반온도를 나타내는 것으로 2m 깊이의 지반온도는 겨울에도 5℃ 이상을 나타내어 별도의 보양이 필요치 않는 것으로 나타나고 있다.



<그림 4-15> 심도에 따른 연간 지중온도변화의 예 -
Ottawa(Williams, 1976)

또한, 말뚝은 연직하중을 위주로 받을 수도 있고, 수평하중을 많이 받는 말뚝도 있다. 연직하중을 주로 받는 매입말뚝 또는 현장타설 말뚝의 경우 주로 지지거동이 지표면 부근 보다는 동결심도 이하의 주면부와 선단부가 주로 지지하므로 재하시험을 통하여 설계지지력을 확보할 수 있는 경우에는 별도의 보양을 하지 않아도 된다.

수평력을 많이 받는 매입 또는 현장타설 말뚝의 경우에는 지표면 부근이 수평력에 많이 저항하므로 이 부근의 주입된 시멘트 페이스트와 콘크리트의 품질확보를 위해서 동절기에는 별도의 보양이 필요할 수 있다.

(나) 동절기 강관말뚝의 시공주의점

동절기에 강관말뚝을 항타시공하는 경우에 저온에서의 충격인성이 약화되어 취성파괴되는 경우가 종종 발생한다. 이러한 문제점에 대응하기 위해서는 강관의 재질이 저온에서 충분한 인성을 확보한 것을 사용하여야 하고 타격에너지와 타격횟수 등도 제한하여야 하나 이에 대한 국내의 연구는 충분치 않은 실정이다. KS F 3780(철탑용 고장력 강관)에서는 고강도 강관말뚝(STKT 540 및 STKT 590)의 인성을 확보하기 위한 화학성분과 저온충격인성 기준(샤르피흡수에너지) 등을 수록하고 있으며 다음은 관련 기준 내용이다.

① 화학성분(KS F 3780)

고강도 강관(STKT 540 및 STKT 590)의 인성을 포함한 역학적, 물리적 성질을 확보하기 위한 기본 화학성분은 표 4-3과 같으며 필요에 따라 합금 원소를 첨가할 수 있다.

<표 4-3> 화학성분 단위 : %

종류와 기호	C	Si	Mn	P	S	Nb+V
STKT 540	0.23 이하	0.55 이하	1.50 이하	0.040 이하	0.040 이하	-
STKT 540	0.12 이하	0.40 이하	2.00 이하	0.030 이하	0.030 이하	0.15 이하

② 사르피 흡수 에너지(KS F 3780)

STKT 590의 관은 KS F 3780 10.4의 시험을 하며 그 충격 시험에 의한 샤르피 흡수 에너지는 다음 표에 따른다. 이 경우, 시험온도는 -5℃로 하고, 샤르피 흡수 에너지는 3개 시험편의 평균값으로 한다. 샤르피 흡수에너지 기준은 표 4-4와 같다.

<표 4-4> 샤르피 흡수 에너지

시험편의 두께×나비(mm)	샤르피 흡수 에너지(J)
10×10	47 이상
10×7.5	35 이상
10×5	24 이상

③ 탄소당량(KS F 3780)

용접부위에서의 취성파괴 등을 막기 위하여 관의 탄소당량은 0.40% 이하로 한다. 탄소 당량의 계산은 다음 식에 따른다.

$$\text{탄소당량}(\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$$

4.5 기초 설계기준 및 관리방안 제안(안)

1. 동결피해 대상 구조물 설계 및 시공기준 변경 제안(안)

가. 구조물 기초 설계기준 (국토해양부, 2008)

현 재	개 정 안 (안)	근거 및 참조
제 2장 설계 일반 2.1 일반사항 2.1.1 구조물 기초는 다음과 같은 조건을 만족하도록 설계하여야 한다. (1) (기존내용) (2) (기존내용) (3) (기존내용) (4) (기존내용) (5) (기존내용) (6) 기초의 깊이는 지반의 동결 깊이보다 깊어야 한다.	제 2장 설계 일반 2.1 일반사항 2.1.1 구조물 기초는 다음과 같은 조건을 만족하도록 설계하여야 한다. (1) 좌동 (2) 좌동 (3) 좌동 (4) 좌동 (5) 좌동 (6) 기초의 깊이는 지반의 동결 깊이보다 깊어야 한다. 동결깊이는 동상방지층 설계지침을 참조한다.	동결깊이의 산정이 '도로동상방지층 설계지침'(2012.9)에 새롭게 제정되어 동상방지 관련 기준에 제안.
2.3 관련조사 2.3.2 지반조사는 예비조사, 본 조사, 추가조사로 구분하며 이들에 대한 구분은 다음과 같으며 세부사항은 제 3장에서 정하는 바를 따른다. (1) (기존내용) (2) 본 조사는 기초 설계 및 시공에 필요한 제반 지반정보를 얻기 위하여 실시하며, 지층구성, 지지력과 침하 및 기초시공에 영향을 주는 범위를 대상으로 한다. (3) (기존내용)	2.3 관련조사 2.3.2 지반조사는 예비조사, 본 조사, 추가조사로 구분하며 이들에 대한 구분은 다음과 같으며 세부사항은 제 3장에서 정하는 바를 따른다. (1) 좌동 (2) 본 조사는 기초 설계 및 시공에 필요한 제반 지반정보를 얻기 위하여 실시하며, 지층구성, 지지력과 침하, 동결 및 기초시공에 영향을 주는 범위를 대상으로 한다. (3) 좌동	지반조사시 동결부분 추가
2.4 기초계획 2.4.2 지반조사 결과를 토대로 기초가 놓이게 될 지반에 대한 지층의 성상과 각 지층별 공학적 특성을 분석하여 상부구조물 하중을 안전하게 지지할 수 있는 지층을 파악한다.	2.4 기초계획 2.4.2 지반조사 결과를 토대로 기초가 놓이게 될 지반에 대한 지층의 성상과 각 지층별 공학적 특성 및 동결피해 여부를 분석하여 상부구조물 하중을 안전하게 지지할 수 있는 지층을 파악한다.	지반조사시 동결부분 추가

2. 위탁과제 보고서

-목 차-

2. 위탁과제 보고서

제 1장 서론 ..... **부록 - 1**

1.1 연구 개발의 필요성 ..... 부록 - 1

1.2 연구 목표 및 연구 수행 방법 ..... 부록 - 4

제 2 장 동상 및 융해에 의한 붕괴, 파괴 메카니즘 ..... **부록 - 6**

2.1 지반의 동상 현상 ..... 부록 - 6

2.2 동상, 융해에 의한 사면 변상 ..... 부록 - 8

제 3 장 동결융해에 의한 국내외 흙막이 구조물 피해 사례 ..... **부록 - 10**

3.1 국내 흙막이구조물 피해 사례 ..... 부록 - 10

3.2 일본의 흙막이 구조물 피해 사례 ..... 부록 - 11

제 4 장 국내 동결융해 피해지역 흙에 대한 실내 시험 ..... **부록 - 23**

4.1 동결융해 피해 지역 흙의 기본 성질 시험 ..... 부록 - 23

4.2 동결융해 피해 지역 흙의 열전도시험 ..... 부록 - 25

4.3 동결융해 피해 지역 흙의 부동수분시험 ..... 부록 - 28

4.4 동결융해 피해 지역 흙의 동결토압실험 ..... 부록 - 35

제 5 장 한랭지대 토목 구조물의 동상 방지 방안 ..... **부록 - 41**

5.1 흙막이 구조물 뒷채움 흙의 동상 피해 방지 방안 ..... 부록 - 41

5.2 고산지대 고압 전신주 기초의 동상피해 방지 매설 방안 ..... 부록 - 45

5.3 토목 구조물 기초의 동착력 방지 방안 ..... 부록 - 47

제 6 장 결론 ..... **부록 - 49**

제 1 장 서론

1. 연구개발의 필요성

가. 연구개발 개요

강원도 등 국내 한랭지의 토공구조물은 겨울철에는 하부나 뒷부분 지반의 동결 팽창에 의해 균열이 발생하거나 변형이 일어나며, 봄철에는 얼었던 지반이 녹으면서 붕괴되어 다시 피해를 입는다. 이러한 과정에서 구조물의 내구성이 약화되며, 유지 보수를 위한 국가 예산이 추가로 필요하게 된다. 따라서 이러한 피해를 줄이기 위해 본 연구에서는 옹벽 등 한랭지 구조물 뒷채움재가 동결융해시 어떠한 거동을 보이는지 실험을 통해 규명하고, 이를 방지하기 위한 설계, 시공 기준 방안을 작성하고자 한다.

나. 연구개발의 중요성

<기술적 중요성>

최근 제2 영동고속도로, 원주-평창간 고속철도 건설이 추진되면서 강원권 한랭지 토목구조물의 동결 융해시 피해 방지에 대한 관심이 높아지고 있다.

동결지수(Freezing Index)가 강원도의 평창이나 태백 보다 작은 일본 니이가타나 아오모리에서는 겨울철에 보강토 옹벽의 뒷채움재가 동결하면서 토압이 증가하여 보강토 옹벽이 파손된 사례가 다수 보고 되고 있고, 토피 두께가 낮은 박스 컬버트가 그 내부로 찬 공기가 침투하는 바람에 동해를 입어 파손되거나 균열이 다수 발생하는 사고가 늘어나고 있다.

한랭지 구조물의 동상에 의한 피해를 줄이기 위해, 본 연구에서는 동절기 옹벽 및 교대의 뒷채움재가 동상을 일으킬 때 증가하는 토압을 실험을 통해 구명하고, 그 대책(안)을 해외 사례, 해외 기준 분석 등을 통해 마련하고자 한다.

<경제 산업적 중요성>

제2 영동고속도로나 강원도 국도변의 옹벽 및 교대의 안정성을 증대시킴으로써 국도, 고속도로를 통한 인원과 물자를 원활히 수송, 지역 경제 활성화와 전국의 균형 발전에 기여하고자 한다. 또한 SOC시설의 수명을 증대시키고, 유지 보수를 위한 국가 예산을 줄이고자 한다.

<사회 문화적 중요성>

제2 영동고속도로 주변 토목구조물의 안정성을 증대시켜 설악산, 강릉, 동해안 등강원도지역을 방문하는 관공객들을 안전하게 수송할 수 있도록 한다. 또한, 동절기 및 해빙기 도로 절취사면의 붕괴사고 방지를 통해 도로변 주민들의 안전한 생활을 확보하고 자연재해 복구에 소요되는 정부 예산을 줄이고자 한다.

다. 연구개발하려는 기술의 세계적 수준이 다음의 기술발전주기 (Technology Life Cycle) 중 현재 어느 단계에 해당되는가?

개념정립단계		기업화단계	○	기술의 안정화단계	

라. 지금까지의 연구개발 실적

(1) 국내에서는 한국건설기술연구원에서 도로의 동결깊이를 장기간 측정하고 있고, 경희대를 중심으로 한 도로 동상방지층 연구단에서 도로 동상방지층의 두께 축소를 위한 연구를 수행 완료하였다. 그러나 도로 주변 옹벽 구조물이나 교대 , 고압전신주 기초의 동상방지에 대한 연구는 아직 시행된 바 없다.

(2) 일본에서는 옹벽 뒷채움재의 동상에 의한 피해를 줄이기 위해 뒷채움재로 화산재를 이용하는 방법이 이용되고 있다. 절취사면의 동절기 및 해빙기 동상이나 융해에 의한 붕괴 형태에 대한 연구와 붕괴 방지를 위한 실물 실험이 이루어지고 있고, 절취사면 보강 구조물에 대한 설계 기준과 보강공으로서 볏짚이나 식생공을 설치하는 기준 등도 연구하고 있다.

마. 국내외 관련 기술 및 산업 동향

(1) 국내 기술 및 산업 동향

국내에서 지반의 동결과 관련한 연구는 한국건설기술연구원을 중심으로 수행되고 있다. 아울러 경희대에서 도로의 동상방지층 감소에 대한 연구가 수행된 바 있다.

(2) 국외 기술 및 산업 동향

일본, 러시아, 북유럽을 중심으로 도로나 철도의 동상 피해를 줄이기 위한 단열재 개발이 이루어지고 있다. 구체적인 외국의 연구 사례 및 연구 내용은 다음과 같다.

(가) 일본

30년 이상 일본 중북부 지역의 동결 깊이 실측 결과를 바탕으로 동결지수와 동결깊이 산정식이 개발되었고, 도로, 매설관, 에너지 파이프 라인 기초, 건물 기초 등에 대한 연구를 통해 피해를 최소한으로 줄이고 있다. 일본의 기후조건 및 지반조건에 맞는 동결깊이 산정식을 활용하여 각종 토목, 건축 구조물 매설 깊이를 결정한다.

북해도대학, 일본 문부과학기술성, 에너지성 등이 공동으로 러시아 가스 및 석유 수송 파이프라인을 건설하기 위한 연구를 10년 이상 장기간 수행한바있다.

북해학원대학, 독립행정법인 토목연구소 한지토목연구소에서는 도로의 동상 대책, 동해방지 기준 등을 주로 연구한다. 일본 극지연구소에서는 극지의 과학기술시설물, 에너지 시설물, 혹한 기상 기후에 대한 연구를 실시하고 있다. 시미즈 건설, 다이세이건설 등에서는 LNG 저장 탱크용 각종 건설 재료(콘크리트, 강철)에 대한 연구를 수년간 수행하였고, 도로 관련 전문 건설회사에서는 도로 축조용 흙, 화산재, 아스팔트, 산업부산물에 대한 동결특성 및 동해 방지에 대한 연구가 최근 활발하게 수행하고 있다. 토목연구소 한지토목연구소 및 건설교통성 등에서 다양한 토목, 건축, 에너지 시설물의 동해방지 기준을 제정 및 개정하고 있다.

최근 북해도의 키타미 대학에서는 동토지대 옹벽이나 도로 배수로의 동상피해방지 관련 연구를 수행하고 있다.

(나) 미국

미공병단 한지공학연구소(CRREL), 알라스카대학(앵커리지캠퍼스, 페어뱅크 캠퍼스), 미국 극지연구소, 미시간대학 등에서 동토지역의 각종 토목, 건축구조물 및 과학기지, 에너지 시설에 대한 연구를 세계 최고 수준으로 수행하고 있다.

특히 영구동토지대인 알라스카에서는 각종 군사기지(미사일 발사대 기초, 레이더 기지 기초, 비행장 포장 등) 및 군사시설에 연결된 민간 토목(도로, 철도), 건축구조물의 동결피해 방지 연구를 미소 냉전시대부터 활발하게 수행하고 있다.

미 연방정부 차원에서 알라스카 횡단 석유 파이프라인, 가스 파이프라인 등 에너지 시설물의 건설 및 동해방지에 대한 연구를 대학, 민간연구소, 미공병단 한지공학연구소가 공동으로 수행하였다.

최근 우주 및 달이나 화성과 같은 극저온 환경에서의 건설활동에 필요한 재료개발, 건설장비 개발 연구도 활발하게 전개하고 있다.

(다) 캐나다

NRC(National Research Council)을 중심으로, 캐나다 극지연구소, 퀘백의 Laval대학, 캘거리의 Alberta대학 등에서 동토지대 토목구조물, 건축 구조물의 설계, 시공 기준에 대한 연구를 활발히 수행하였다.

캐나다 북부의 영구동토지대 에너지 개발용 시설물, 도로, 건축물 기초에 대한 연구개발이 NRC를 중심으로 수행되었다. 캐나다 극지연구소에서는 남극 과학기지 건설을 통한 얼음과 눈, 극한기후 등에 대한 연구를 다수 수행하였다.

(라) 러시아

야쿠츠크 동토연구소, 블라디보스토크의 극동대학, 모스크바대학, 상트 페테르부르그의 러시아 극지연구소 및 VNIIG에서 동토관련 연구를 주로 수행한다. 야쿠츠크 동토연구소에는 천연 동상실험실이 갖추어져 있고, 구 소련시절에는 영구동토지대 파이프라인이나 토목, 건축 구조물 기초의 기준 관련 연구를 활발하게 수행하였다. 그러나, 소련이 붕괴된 후 동토학자들이 대거 미국이나 서방 세계로 이주하였다. 최근에는 블라디보스토크의 극동대학에서 동토지대 콘크리트 및 건설재료 설계, 시공 기준에 관한 연구를 하고 있다. 상트 페테르부르그의 러시아 극지연구소는 남극연구와 관련하여 세계 최다의 연구진을 갖추고 있고, 최근 남·북극 빙하 밑의 지하자원 개발에 연구의 중점을 두고 있다. 상트 페테르부르그의 VNIIG에서는 동토지대 수력구조물 (댐, 저수로, 제방 등)에 관한 연구와 동결된 암반 및 동토 처리에 관한 연구를 수행한다.

(마) 스웨덴

스웨덴 북부의 Luleo대학에서 동토지대 도로 동상방지층 설치 기준, 도로동결방지재, 건축물 기초 설계 기준과 동토지대 건설재료의 내구성 및 얼음, 눈 등을 건설재료로 활용하는 연구를 활발하게 수행한다.

링최핑에 있는 SGI 및 스웨덴 도로교통연구소 에서는 1935년부터 동토 연구의 창시자 Besko박사가 활발하게 동토연구를 수행한 바 있으며, 지금까지 그 전통을 살려 암 및 흙의 열적 특성이나 동토지대 사면붕괴 방지 관련연구를 수행하고 있다.

(바) 핀란드

헬싱키의 VTT 및 헬싱키 공대에서 도로의 동결깊이 산정식, 도로포장 동결방지 설계 기준, 건축물 기초의 동상방지 기준, 동토지대에서의 장비 운행 및 지반조사 등 건설공사 수행방법에 관하여 연구한다.

Tampere대학에서는 철도 구조물의 동상방지에 대한 연구를 수행하고 있다.

(사) 스위스

로잔느대학 토목공학과에서는 도로 동상방지재료, 동결깊이 산정식 등에 대하여 연구한 바 있고, 쮜리히대학 토목공학과에서는 알프스 산맥의 영구동토에 대하여 연구를 수행하고 있다.

(아) 노르웨이

오슬로에 있는 도로연구소 및 노르웨이 과학기술대에서 도로의 동결깊이 산정식, 동절기 도로의 건설재료 설계 시공 기준, 한중 콘크리트에 대하여 연구하고 있다.

(자) 영국

캠브리지대학의 극지연구센터에서는 세계 각국의 극지 및 동토 관련 정보를 관리하고 있고, 영국 극지연구소를 중심으로 동토지대에서의 차량 운행 방법, 영구동토용 건설 재료에 대한 연구를 부분적으로 수행하고 있다.

2. 연구목표 및 연구 수행 방법

가. 연구개발 최종목표

(1) 최종목표

◦ 옹벽, 암거, 고압선 기초 등 토목 구조물 뒷채움재의 동상 시험 분석 및 단열재 활용 등에 의한 동상 피해 저감 방안 제시

(2) 최종목표의 성격 및 설정근거

◦ 실내 실험을 통한 구조물 뒷채움재의 동상 특성 실험 분석

나. 연구 수행 방법

(1) 국내외의 문헌 조사 및 일본 학회 세미나 참석을 통하여 수집한 자료를 통하여 국내외 토목(흙막이)구조물의 동결 융해에 따른 피해 실태를 조사 분석함.

(2) 국내 한랭지(강원도 지방) 토목구조물 동결융해 피해 현장을 직접 방문하여 동결융해에 의한 피해 실태를 조사 분석함

(3) 실내 실험 수행

(가) 영하 30℃에서 영상 50℃까지 온도를 임의로 설정하고, 싸이클을 조절할 수 있는 대형 냉동챔버를 축조하였으며, 그 내부에서 동결융해 피해 발생지에서 채취한 흙 시료에 대한 동상시험을 실시하여 동상력을 측정함.

(나) 동상시험기는 직경 30cm, 높이 20cm 규격이며, 하부로부터 물을 공급할 수 있는 호스를 설치하였고, 호스 중간에는 물의 온도를 조절할 수 있는 장치를 설치하여 자연에서 지반에 동상이 발생할 때 물이 얼지 않고 공급되는 것처럼 모사하였

음.

(다) 또한 동상시험기에는 동상력을 측정할 수 있는 load cell을 부착하였고, 이 load cell을 data logger에 연결하여 실험중 온도변화에 따른 동상력, 함수비 변화에 따른 동상력, 단열재(PE골재) 설치 시 동상력을 측정하였음.

(라) 흙의 동결 시 흙 속에 얼지 않고 남아 있는 수분(부동수분)을 측정하기 위하여 TDR(Time Domain Reflectometry)을 이용하여 부동수분을 측정함.

(4) 흙막이 구조물 동해방지 방안 작성

(가) 옹벽, 교대 등 흙막이 구조물과 고압전신주 기초의 동상피해 방지 방안을 작성함.

제 2 장 동상 및 융해에 의한 붕괴, 파괴 메카니즘

2.1 지반의 동상현상

가. 동상의 메카니즘

흙이 0℃ 이하의 낮은 기온에 장시간 노출되면 동결한다. 흙이 동결할 때 실제로는 흙 속의 수분이 동결하는 것인데, 흙의 성질에 따라서 수분유지능력이나 수분이동능력이 다르기 때문에 흙이 동결하는 모양도 크게 다르다.

흙의 동결에 따라 지반에 변위가 발생하거나 인접구조물에 압력을 미치므로 지반공학적상으로 문제가 된다.

통상적으로 동결은 흙 속의 물이 얼어 단단해지는 것을 의미하므로 동상과 구분한다.

지반의 동상메카니즘은 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉, 기온이 낮아지면 지표면 온도도 저하하고, 지반 중에 동결면(0℃ 등온면)이 생긴다. 이때 지반의 미동토측으로부터 수분이 동결면을 향하여 이동하고, 동결면에 모인 수분이 동결할 때 토립자 표면으로부터 얼음이 분리되며, 얇은 얼음층을 성장시켜 흙의 구조(골격)를 벌린다. 이러한 얼음층을 형성하는 현상을 빙정분리, 형성된 얼음층을 아이스렌즈라고 부른다.

(1) 동상의 발생 요인

(가) 토질

흙이 동상성을 갖는다는 것은 동결면 부근에서 아이스렌즈가 발생, 성장할 수 있는 성질을 갖는다는 것을 의미한다. 이 뜻은 0℃에 약간 못미치는 온도에서 물이 이동할 수 있는 경로가 동토내에 있다는 것으로서, 미동토가 필요한 물의 양을 공급할 수 있는 투수성을 갖고 있다는 것이라고 말할 수 있다.

자갈이나 모래가 동상성을 지니지 않는다는 것은 동결한 자갈이나 모래는 물이 이동하는 경로를 갖지 않는다는 것이다. 동결되지 않은 점토에는 충분한 경로는 있으나 투수성이 낮기 때문에 일반적으로 점토는 동상성이 낮다.

(나) 수분

수분은 동상성을 지배하는 중요한 요소이다. 사면에서도 평지에서와 마찬가지로 지하수위가 동결면에 가까이 있는 경우에는 미동토의 함수비가 높다고 생각할 수 있으므로 동결면에 공급할 수 있는 수분이 충분히 있다고 볼 수 있다.

(다) 온도

지표면 온도가 0℃ 이하인 기간이 장기간 계속되는 것이 동상발생의 요건이다.

(2) 동상에 의한 사면의 변위

(가) 동상량

사면에서는 지중 0℃ 등온선이 경사진 지표면과 나란하다면, 동상이 지표면(사면)에 대하여 거의 수직방향으로 발생한다. 이것은 평탄면에서의 동상변위와 본질적으로는

다르지 않다. 그러나, 융해시 발생하는 하향변위는 사면과 연직방향에 가깝게 일어나므로 동결융해작용에 의해 사면표층토는 동상변위 전의 위치로는 돌아가지 않는다는 특징이 있다.

(나)동결토압 및 동상력

동결면에서 아이스렌즈의 성장에 따라 발생하는 지중 내부의 응력을 동결팽창압이라고 부르는데, 동상의 메카니즘과 깊은 관련이 있다. 동결팽창압이 구조물에 전파, 작용할 때 구조물 쪽에 작용하는 압력이나 힘을 동상토압 또는 동상력이라고 부른다. 일반적으로 동상변위를 구속하려고 하면 그에 따라서 동상토압이나 동상력이 커지는 특성이 있다.

자연사면은 불포화지반인 경우도 있어, 동상토압이나 동상력을 정량적으로 구하는 것은 실제적으로는 어렵다. 그러나 동결깊이를 가능한한 깊게 침투시키지 않는 대책을 취함으로써 옹벽 등의 구조물에 작용하는 동상(동결) 토압을 경감시키는 것은 가능하다.

ground anchor가 부설되어 있는 지반이 동상하면 anchor의 긴장력이 증가한다. 이 메카니즘이나 긴장력의 증가 특성을 다음과 같이 설명할 수 있다.

ground anchor는 일반적으로 심부에 정착부가 있어, 지압판에 상향력이 부가되어도 anchor 자체가 뽑혀 올라오는 현상은 거의 없다. 결국, 주변 지반의 동상에 의해 지압판에 작용하는 동상력은 지압판을 통하여 자유장 부분의 신장을 초래하게 되고, 이것이 긴장력의 증가 원인이 된다. 그러나 긴장력의 증가와 동시에 지압판의 반력도 증가하게 되어, 지반측에서 보면 동상변위를 구속하는 하중이 증가하는 것을 의미한다. 결국 ground anchor 주변 지반의 동상은 그 자체의 동상을 억제하는 하중을 동시에 생기게 한다고 해석할 수 있다. 이것은 지압판에 작용하는 부가하중은 무한으로 증가하는 것이 아니라 제한적이라는 특성을 가진다는 것을 의미한다. 외부의 온도가 낮아져 지반에 동상이 발생하면, 그에 따라서 ground anchor의 긴장력은 어느 정도까지는 증가하지만, 그 증가의 정도가 조금씩 약해져, 최대동결깊이 전후에서 최대치가 된다고 판단된다.

(다) 동착동상

말뚝이나 맨홀, 얕은 기초 등의 지중구조물이 주변지반의 동상에 의해 지반과 함께 들어 올려지는 일이 있다. 이때 들어 올려지는 힘은 구조물 주면과 동상과의 부착에 의해 일어나는 것으로서 이것을 동착력이라고 부른다. 또한 구조물이 동착력으로 들어 올려지는 현상을 동착동상이라고 부르며, 일반 동상과 구분한다.

동착동상의 지반공학적인 문제는 구조물 그 자체의 변위 뿐만 아니라 변위를 일으킨 구조물이 일반적으로는 원위치되지 않는다는 점이다. 그 까닭은, 지반의 융해 시는 주변의 지반만이 원상으로 돌아오기 때문이다.

사면에 말뚝이나 맨홀을 설치하는 경우는 적지만, 사면붕괴방지구조물로서 사용되는 anchor 핀이 동착동상에 의해 들어올려지는 일이 있다. 이때도 들어 올려진 anchor 핀은 원래의 위치로 돌아오는 일이 없고, 변위가 누적되어 본래의 기능을 상실하는 경우가 많다.

ground anchor의 경우는 anchor 몸체가 직접 동토에 접촉하는 경우는 없고, 또한 지압판이 지표면 변위를 구속하고 있기 때문에 동착동상의 영향을 고려할 필요가 없다.

그러나 동상에 의한 긴장력의 증가가 발생하므로 충분히 검토할 필요가 있다.

2.2 동상, 융해에 의한 사면의 변상(變狀)

가. 사면의 표층 붕괴 발생 메카니즘

적설한랭지인 북해도에서는 동절기 평균 기온이 낮아짐에 따라 지반 표층부는 지표면에서부터 동결하고, 봄철 평균기온이 상승하면 지표면 부근의 동토가 지표면에서부터 융해한다.

그림 2.1 및 그림 2.2는 적설한랭지에서 대책을 세우지 않은 사면의 동결융해에 의한 표층붕괴 발생 메카니즘을 나타낸 그림이다. 사면붕괴 메카니즘을 대별하면 융설시 붕괴(융설기 4월~ 5월)과 호우기 붕괴(8월~9월의 호우기)로 나눌 수 있으며, 전자는 천층(踐層) 유동형과 내부 침식형의 2 가지로 세분된다. 후술하는 사면붕괴 메카니즘은 절토법면과 성토법면에서 거의 같으며, 동상성의 크고 작음에 관계없이 동결융해작용을 받는 사면에서 생길 가능성이 있다.

(1)융설시 붕괴(천층 유동형)

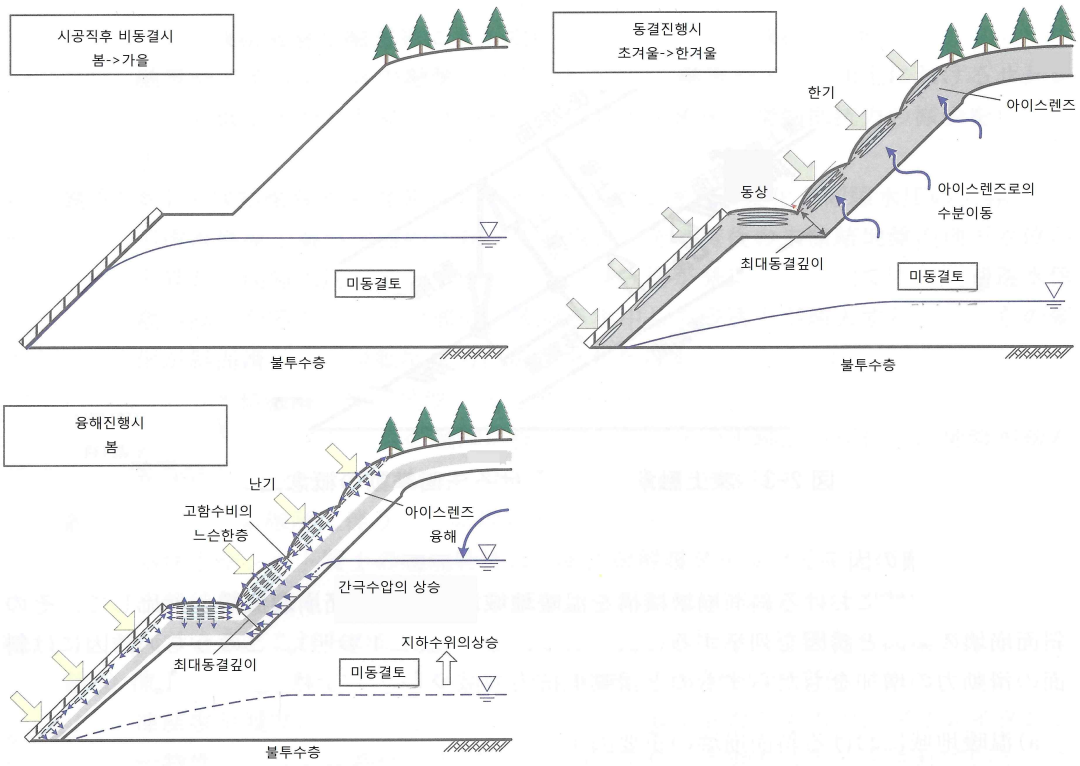
동절기에 형성된 동토층 중에서 표층 부근은 이른 봄 융해기에는 융설수나 동토내의 아이스렌즈의 융해에 의해 높은 함수 상태로 됨과 동시에 렌즈 모양의 얼음 흔적이 공동화(空洞化)하여 느슨해진다. 그 결과 표층부의 약한 융해토층과 그 하부의 융해하지 않은 동토층(불투수층)의 2층 구조가 생긴다. 이러한 구조의 지반에 빗물이 유입하면 그것이 요인이 되어 동결, 비동결층 경계부를 활동면으로 하는 표층 붕괴가 발생한다.

(2)융설기 붕괴(내부 침식형)

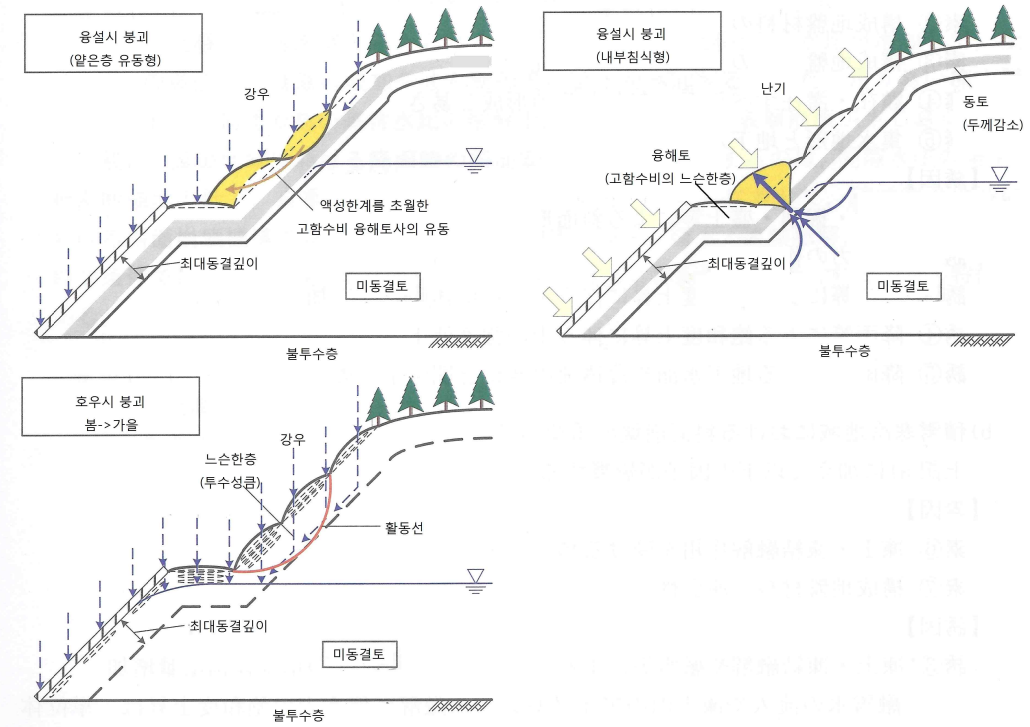
동토층은 차수성이 높기 때문에 한랭지에서는 동절기에 사면과 평행한 불투수층이 표층부에 존재하게 되는데, 동토층의 배후 지반에 지하수가 공급되는 경우에는 지하수위가 상승하여 정수압이 증가한다. 동토층이 봄에 융해하여 층 두께가 얇아지면 배후지반의 간극수압의 상승에 견디지 못하고 얇은 불투수층이 부분적으로 붕괴하여 침투류에 따른 융해토층의 내부침식이나 파이핑에 의해 표층붕괴가 발생한다.

(3)호우 시 붕괴

사면은 겨울철에서부터 봄철에 걸쳐 동상과 동결융해작용을 받은 결과, 동결깊이 보다 얕은 지반에 투수성이 높은 느슨한 층(연질층: 투수계수는 비동결 경질층 보다 3배 정도 큰 것으로 알려져 있음)과 투수성이 낮은 경질층으로 이루어진 2층구조가 동토 융해 후인 여름철에도 존재하게 된다. 이러한 지반에 비가 내리면 빗물이 느슨한 층으로 침투하여 높은 함수비 상태가 되며 사면 안정에 손상을 끼쳐 융설기 붕괴보다 큰 붕괴가 일어난다.



<그림 2.1> 사면에서의 동결· 동상 융해 과정



<그림 2.2> 동결· 동상 융해에 의한 사면의 붕괴 메카니즘

제 3 장 동결융해에 의한 국내외 흙막이 구조물 피해 사례

3.1 국내 흙막이 구조물 피해 사례

가. 강원도 정선의 해빙기 절취사면 붕괴에 의한 낙석 사고 사례 분석

(1)위치: 강원도 정선군 봉양리 485-1번지일원
(현재 자연재해 위험지구 선정 예정)

(2)위험 요인: 암석의 풍화도가 심하여 해빙기 및 강우시 상습적인 낙석 발생으로 차량 및 주민통행에 위험성이 상존하는 지역임

(3)피해 현황

발생일시	사고 원인	사고 내용	조 치 사 항
'12. 4월 이전 수시	• 해빙기 및 호우 시	• 낙석발생	• 응급복구 실시(낙석제거)
'12. 04.25	• 해빙 및 강우	• 낙석발생	• 응급복구 실시(낙석제거) • 임시낙석방호벽 설치
'12. 07.18	• 강우량 247mm(7.6일)	• 낙석발생	• 응급복구 실시(낙석제거)

(4)정선군 내 해빙 개시일 : 3월 말

(5)비탈면 현황 :
(가) 암층 : 정선석회암
(나) 암층특성 : 석회암이 주를 이루고 있으며 소규모 탄질셰일이 협재됨
(다) 지질특성 : 층리면은 72/303으로 매우 고각을 이루고있으며 사면도 고각을 이룸
(라) 붕괴 이력 : 낙석으로 인해 낙석 방지망, 낙석방지 울타리 일부 망실, 지하수 유출 흔적, 낙석방지울타리 망실 부분은 H빔 설치 및 울타리 설치하여 보수, 그러나 전도 파괴 가능성 높음

(6)정선군내 겨울철 최저기온 : -21.3℃ , -10℃이하 결우 지속기간 : 14일
(7)동결 융해에 의한 절취사면 붕괴 현장 사진



사진 3.1.1 낙석 사고 현장



사진 3.1.2 사면 붕괴 현장



사진 3.1.3 조치 보수 작업 완료 후(H빔)



사진 3..1.4 면담 사진
(정선군청 건설방재과 직원과의 면담)

<사진 3.1> 동결 융해로 절취사면의 붕괴가 일어난 강원도 지역

3.2 일본의 흙막이 구조물 피해 사례

가. 절토, 성토법면 보강구조물의 동상 및 융해에 의한 붕괴 사례

(1)사면보강용 콘크리트 격자틀의 파괴

사진 3.2는 북해도 키타미시에 설치한 프리캐스트 콘크리트제 사면 보강용 격자틀이 동결융해에 의해 파괴된 사례를 보여 주고 있다. 이 격자틀은 콘크리트 블록을 경사가 느슨한 성토사면에 설치하고, 내부에 흙을 채워서 사면의 침식, 풍화방지를 도모하는 구조물이다. 그런데 동결융해에 의해 콘크리트 블록과 내부 흙이 들어 올려졌고, 내부 흙이 유출되었다. 즉, 콘크리트 블록이 들어 올려지면서 블록의 연결부가 파손되었고, 내부 채움흙이 흘려내렸다.



<사진 3.2> 동결융해에 의해 파손된 콘크리트 격자틀

사진 3.3은 북해도 동부 해안에 위치한 절토사면 보강용 콘크리트 격자틀이 동결융해에 의해 변상된 모습이다.



<사진3.3>절토사면 보강용 콘크리트 격자틀의 파손

(2)숏크리트 보강면의 파쇄

사진 3.4는 북해도내 절토사면에서 보강을 위해 숏크리트한 것이 배면흙의 동결융해

에 의해 파손된 모습이다. 숏크리트가 파손되었을 때 배면흙에는 아이스렌즈가 생성되어 있었다.



<사진 3.4> 사면 보강용 숏크리트의 동결융해에 의한 파손

(3) 옹벽의 파손

사진 3.5는 키타미공대 구내에 오래 전에 설치한 역 T형 옹벽에, 뒷채움재의 동결융해로 인해 수직으로 큰 균열이 생긴 모습이다. 이 옹벽의 뒷채움재는 일반 흙 보다는 동상에 덜 민감한 화산재(동상성 중간)였고, 지하수위는 지표로부터 10m 위치에 있었으나, 가을철 강우시 침투한 빗물이 동결하면서 팽창하여 옹벽의 전면판에 균열이 생겼다.



<사진 3.5> 북해도 키타미공대에 설치된 옹벽의 동결융해에 의한 파손

(4) 사면 소단 배수로의 파손

사진 3.6은 북해도 북부지역의 사면 소단에 설치한 배수로가 동상에 의해 융기한 후 융해시 경사지게 침하한 모습이다. 동상시 소단 앞쪽 지반은 동결깊이가 소단 뒷쪽(산

쪽) 보다 깊어 동상력이 크게 작용하였으며, 이로 인해 배수로가 산쪽으로 밀렸던 것으로 판단된다.



<사진 3.6> 절토사면 소단 배수로의 동상 융해 피해

사진 3.7은 배수로 앞 부분에 타설한 콘크리트판이 하부 지반의 동상으로 균열된 모습이다.



<사진 3.7> 하부지반 동상으로 파손된 배수로 앞 콘크리트판

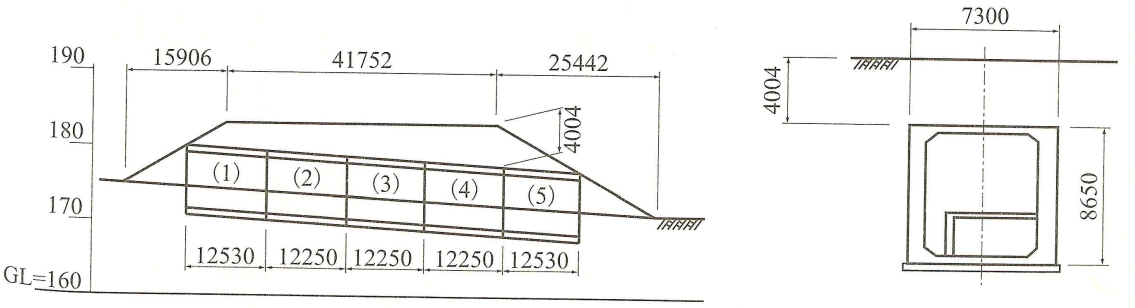
나. 박스 컬버트의 피해

2000년 일본 북해도에는 겨울 한파가 찾아와 여러 곳의 토목 구조물이 동상에 의한 피해를 입었다. 본 사례는 box culvert 측벽부에 발생한 균열의 발생 원인을 조사한 내용이다. 계측은 엄동기인 2월부터 융설기인 5월까지 수행하였으며, 계측항목은 box

culvert 구체와 그 뒷채움흙의 지중온도, 철근 응력, 균열에 의한 변위 등 3개 항목이었다. 계측결과로부터 동상에 의해 발생한 응력의 영향, 균열 발생과 동상과의 인과관계를 고찰한 내용이다.

(1)조사 장소

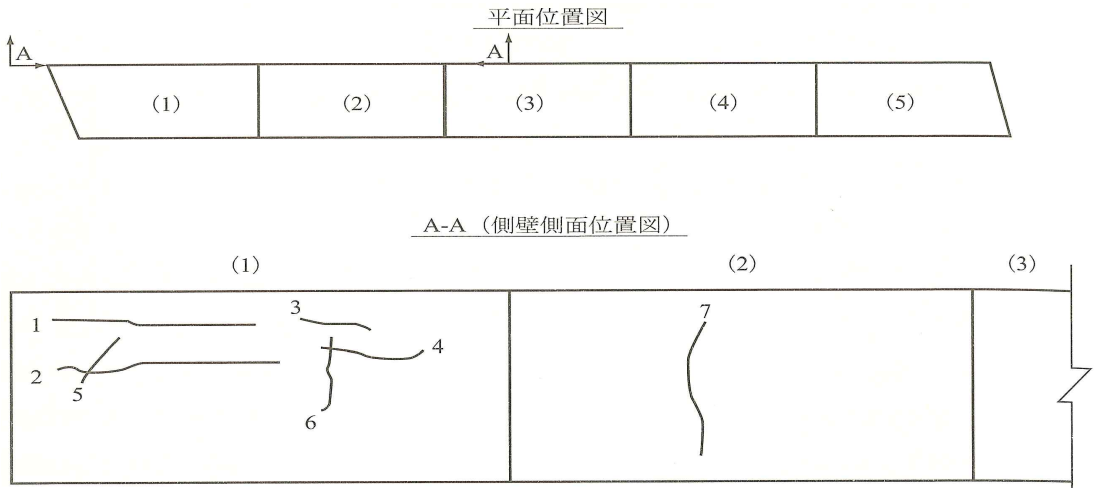
조사 장소는 북해도 북쪽지역이었으며, 그림 3.1에서는 조사지역의 도로성토 횡단도, 컬버트의 단면도를 보여 주고 있다. 컬버트는 철근콘크리트조로서 폭 7.3m, 높이 8.65m, 길이 61.81m이며, 보도, 차도와 수로를 포함하고 잇는 구조물이다. 토피두께는 2.5m ~4.0m이나 계측지점의 토피두께는 약 3.8m이다.



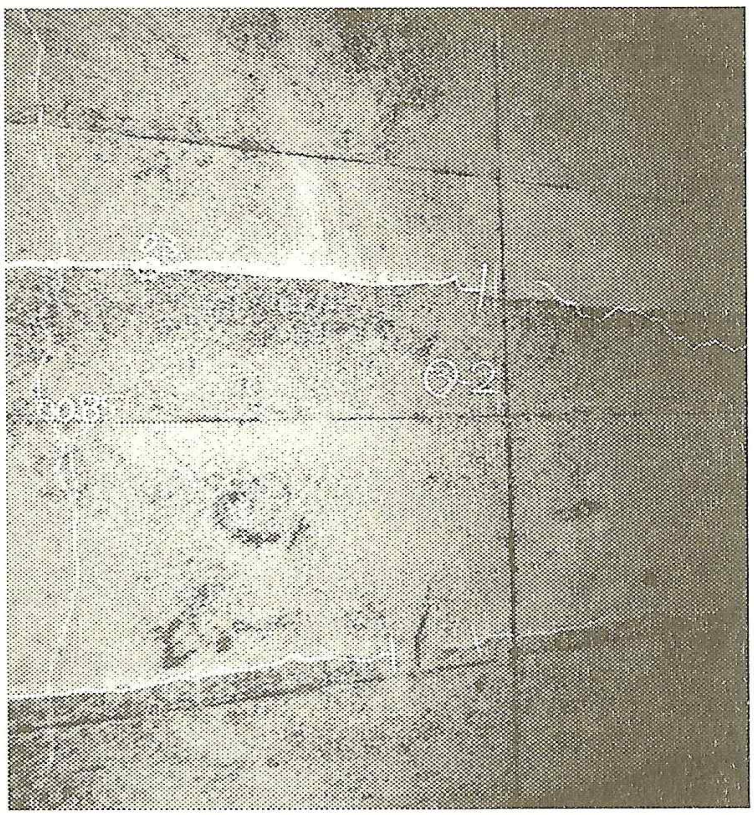
<그림 3.8> 도로 성토 횡단도(좌)와 박스 컬버트 단면도(우)

(가) 균열 발생 상황

그림 3.9는 측벽부 일부를 스케치한 것이고, 사진 3.8은 균열 발생 사진이다. 측벽부 균열은 발생간격에 차이는 있지만 거의 모든 면에 발생하였으며, 균열폭은 눈으로 볼 수 있는 0.1mm부터 최대 0.8mm까지 확인되었다. 또한 균열은 종방향, 횡방향으로 모두 불규칙하였다.



<그림 3.9> 측벽 내측에 발생한 균열을 스케치한 모양



<사진 3.10> 측벽 안쪽의 균열

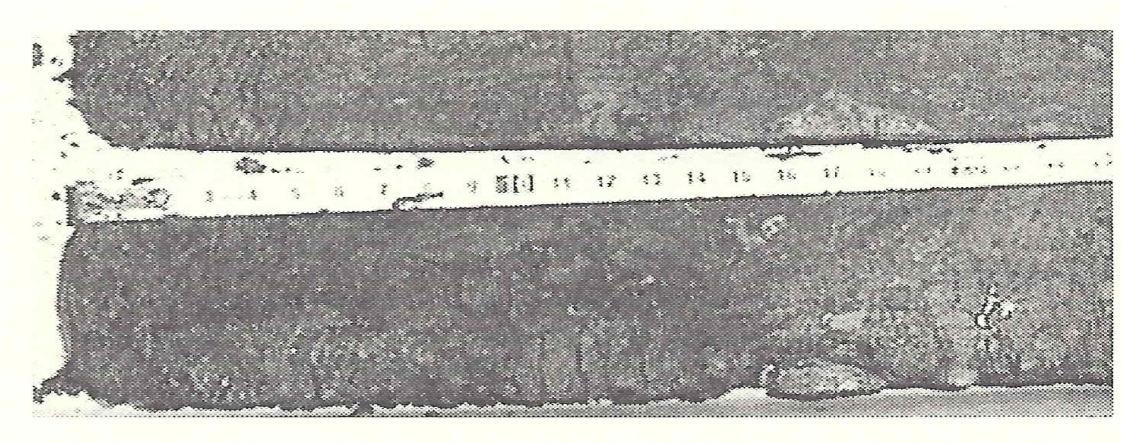
(나)뒷채움흙의 성질

뒷채움흙의 기본성질을 표 3.1에 나타내었는데, 그 특징으로서 세립분 함유율이 46% 이상, 강열감량이 9% 이상 나타나고 있다.

<표 3.1> 동상으로 균열이 발생한 박스 컬버트 뒷채움 흙의 성질

채취 부분	토질 분류	세립분함유율(%)	강열감량(%)
정판(頂版) 부분	실트(MH)내지 점토(CH)	51~63	9.8~10.1
측벽부 No.1	점토(CH)	58	9.4
측벽부 No.2	조립분 섞인 사질 자갈(GFS)	46	11

계측장비 매설을 위한 보링 작업 중에 측벽에 접한 뒷채움흙의 코어를 채취하여 관찰한 결과, 사진 3.11에서 보는 바와 같이 아이스렌즈가 측벽면으로부터 약 30cm 구간에서 보였다.



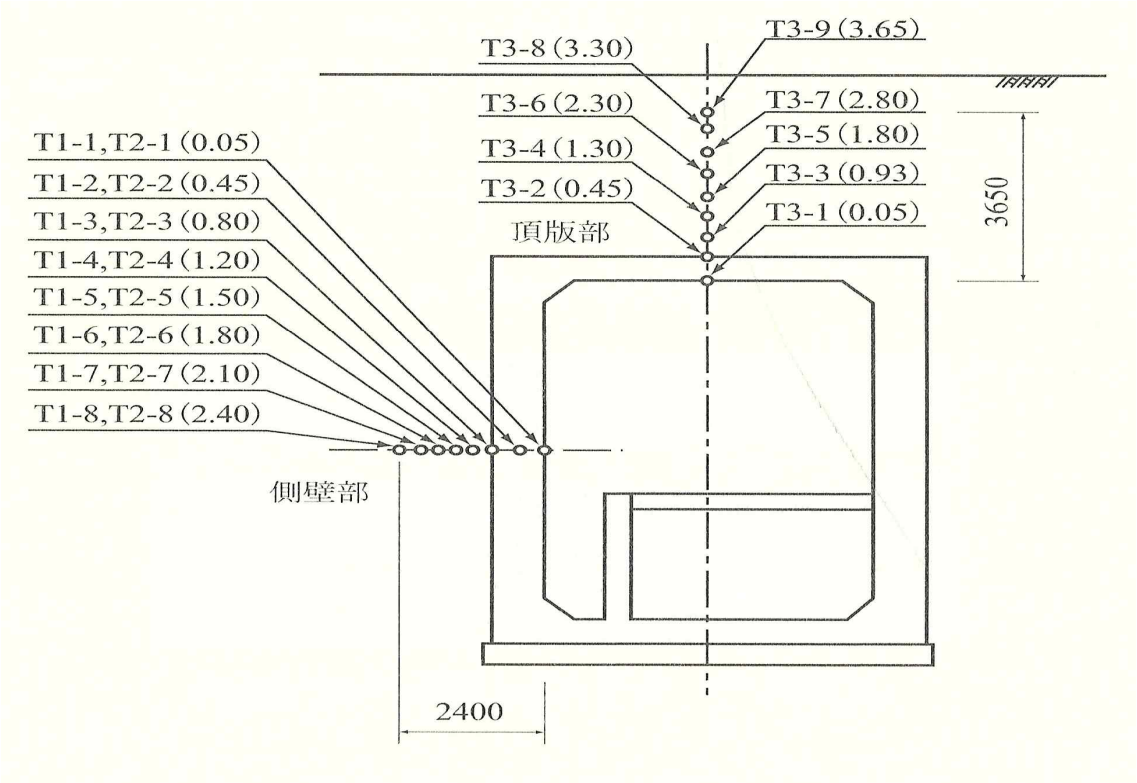
<사진 3.11> 뒷채움 흙에 발생한 아이스렌즈

(다)측정항목

표 3.2에 계측항목과 설치목적을 나타내었다. 계측항목은 지중온도, 내공온도, 철근응력, 균열 변위이다. 측벽부의 지중온도 계측과 철근응력의 계측은 균열 발생 빈도가 다른 두 군데에서 수행하였다. 그림 3.3에 지중온도계의 매설위치를 표시하였다. 지중온도계는 측벽부 내에 3점, 뒷채움흙 내에 5점 설치하였다. 정판부(頂版部)에서는 정판부 내에 2점, 토피부(土被部)에 7점 설치하여 내공측(內空側)과 노면측(路面側)의 두 방향에서 동결상황을 관측하였다. 각각의 계기 번호에서 ( )로 표시한 수치는 내공면으로부터 떨어진 간격(m)을 나타낸 것이다.

<표 3.2> 계측항목과 설치 목적

계측 항목	사용 기기	설치 목적
측벽 배면흙 속 온도	소형 온도계	지중 동결상황 파악
정판 위 지중 온도	소형 온도계	지중 동결상황 파악
측벽 철근 응력	변형계	동상압에 의한 측벽응력파악
측벽 균열 변위	콘크리트표면 변위계	동상압에 의한 균열량 파악
외기 온도, 컬버트 내부의 온도	소형 온도계	외기온도, 컬버트 내부의 온도 파악

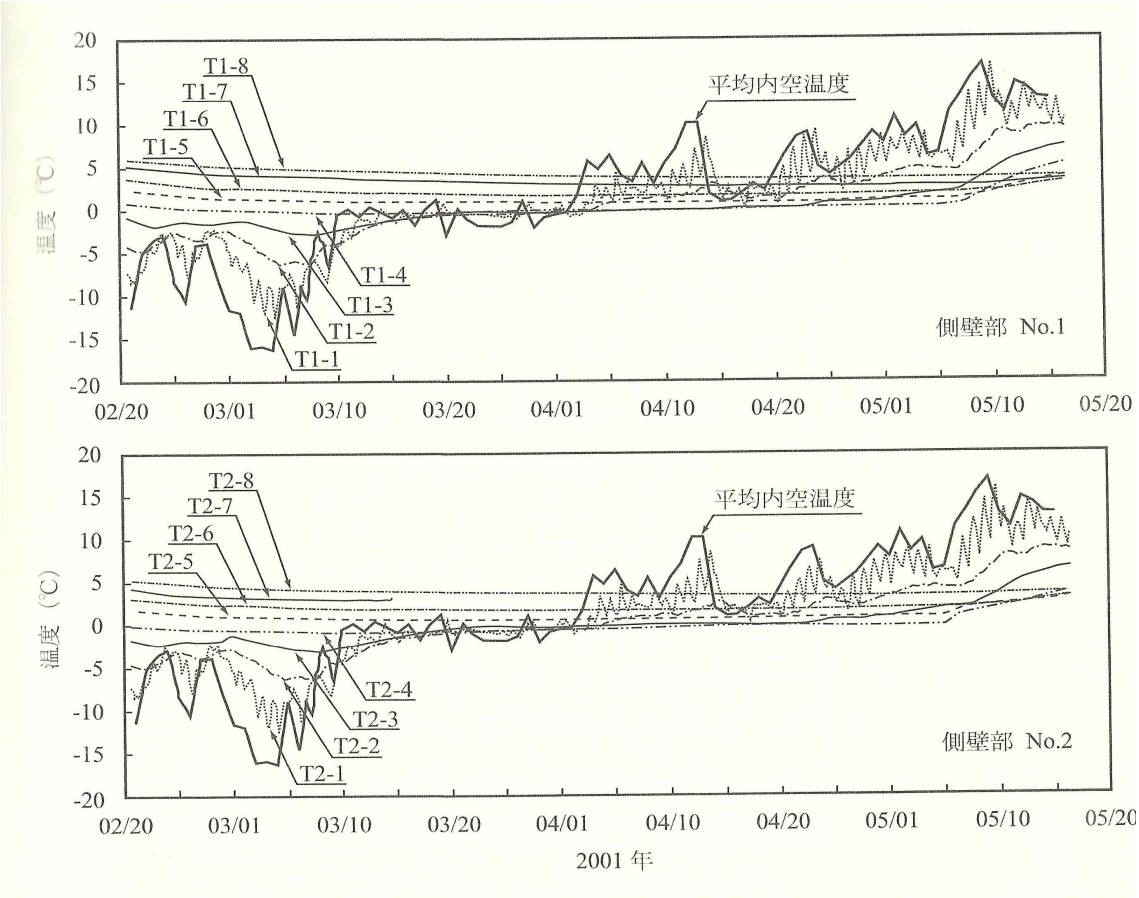


<그림 3.12> 지중 온도계 매설 위치

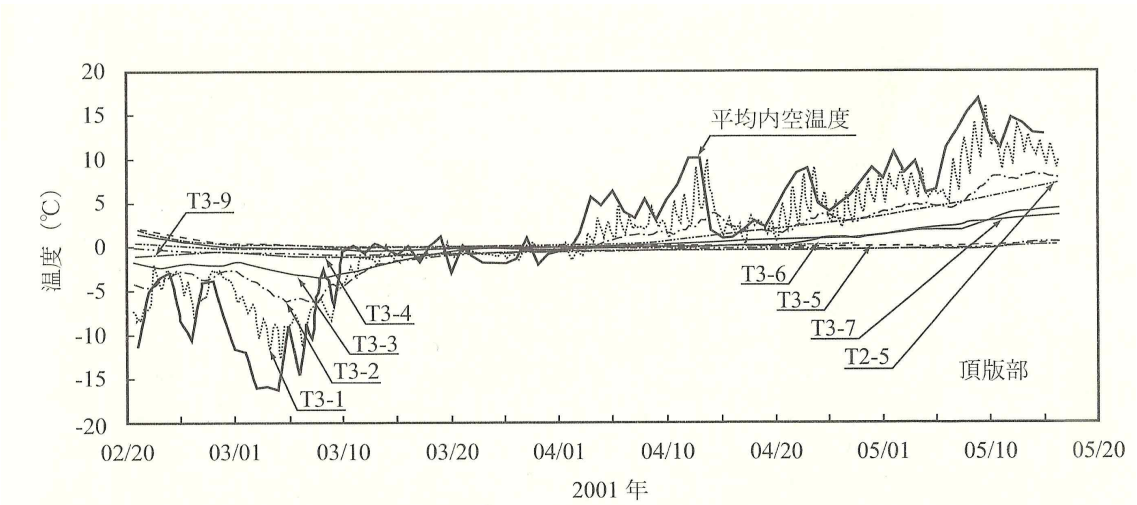
계측은 2월 엄동기에 계측기기를 설치하여 5월 중순까지 계속하였다. 측정된 응력, 균열은 설치시점으로부터의 변위량이다.

(라) 측정 결과

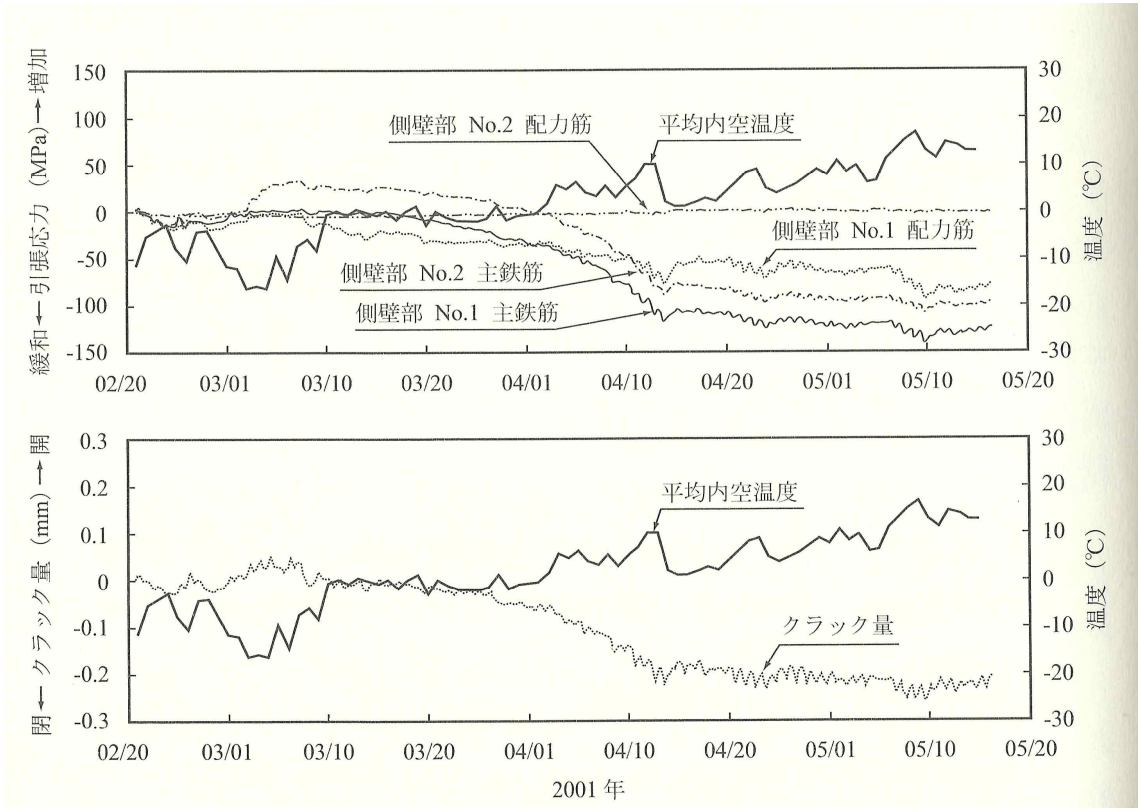
그림 3.13 및 그림3.14는 측벽부 및 정판부의 지중온도분포이다. 그림에서 온도변화를 표시한 선은 그림 3.3의 온도계 설치위치에 대응한다. 측벽부 No.1 의 결과를 보면, 계기를 설치한 2월 20일부터 4월 1일까지의 사이에는 평균 내공 온도가 빙점 이하에 있으며, 이에 따라서 지중온도도 변화하고 있다. 즉, 지중온도가 빙점 이하인 곳은 내공측으로부터 1.2m의 범위(T1-4)이며, 여기 보다 배후 지반의 온도는 빙점 이하로 낮아지지 않았다. 측벽부 No.2에서도 이러한 경향을 보였다. 정판부에서 내공측이 빙점 이하로 되는 곳은 T3-5(1.8m) 까지의 범위이다. 또한 정판부에서 지표면으로부터의 냉각에 의해 빙점 이하가 되는 범위는 T3-8(3.30m), T3-9(3.95m)의 2 점이다.



<그림 3.13> 측벽부의 지중온도분포



<그림 3.14> 정판부의 지중온도분포



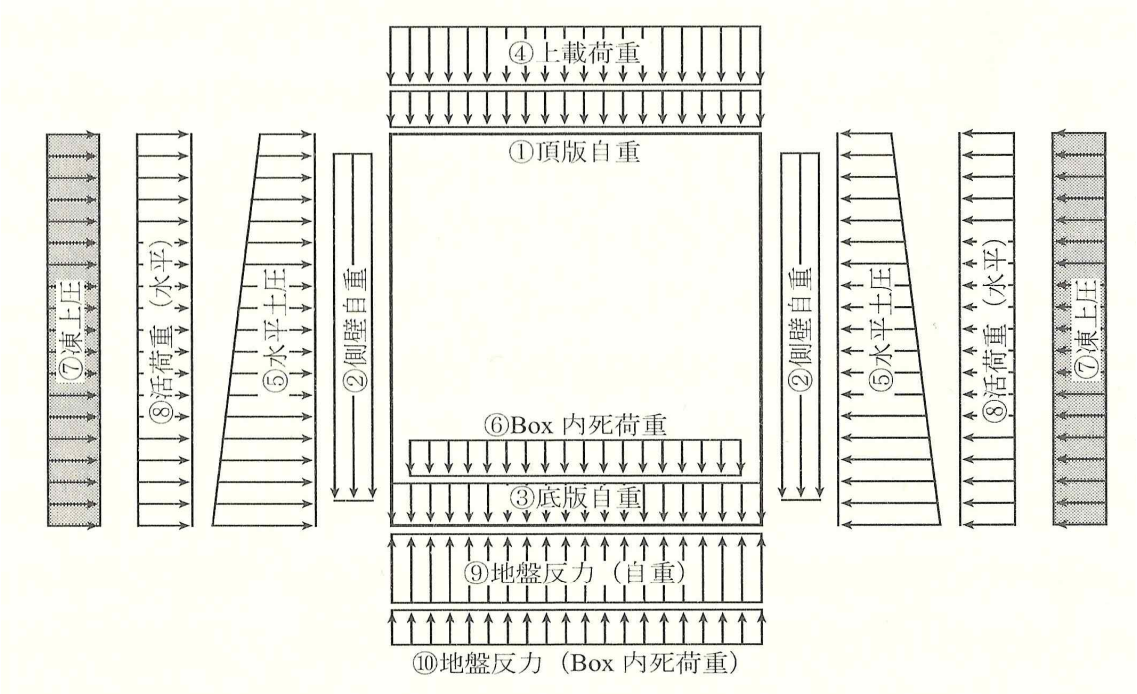
<그림 3.15> 철근 응력 및 균열폭의 경시 변화

그림 3.15은 철근응력 및 균열폭의 경시변화를 나타낸 것이다. 응력계를 설치한 2월부터 융설기인 5월에 걸쳐 주철근에는 최대 140Mpa의 인장응력 완화가 보였다. 이러한 사실은 2~3월 동결기간에 박스 컬버트 배면지반으로부터 이에 상응하는 양 만큼의 인장응력이 작용하였고, 융설기에 다시 이에 상응하는 양 만큼의 응력 완화가 나타난 것이라고 설명할 수 있다.

균열 폭의 변화는 철근응력과 좋은 상관관계를 보이고 있다. 즉, 2~5월 사이에는 균열의 폭이 0.2mm 만큼 좁혀지는 변화를 보였는데, 이것은 계측기 설치시점의 균열폭이 0.5mm 였으므로 융설기에 0.3mm까지 균열이 좁혀진 것으로 판단할 수 있다. 철근응력과 균열폭의 관계를 살펴볼 때, 인장응력의 완화에 따라 벌어졌던 균열이 융설기를 지나면서 좁혀진 것이다.

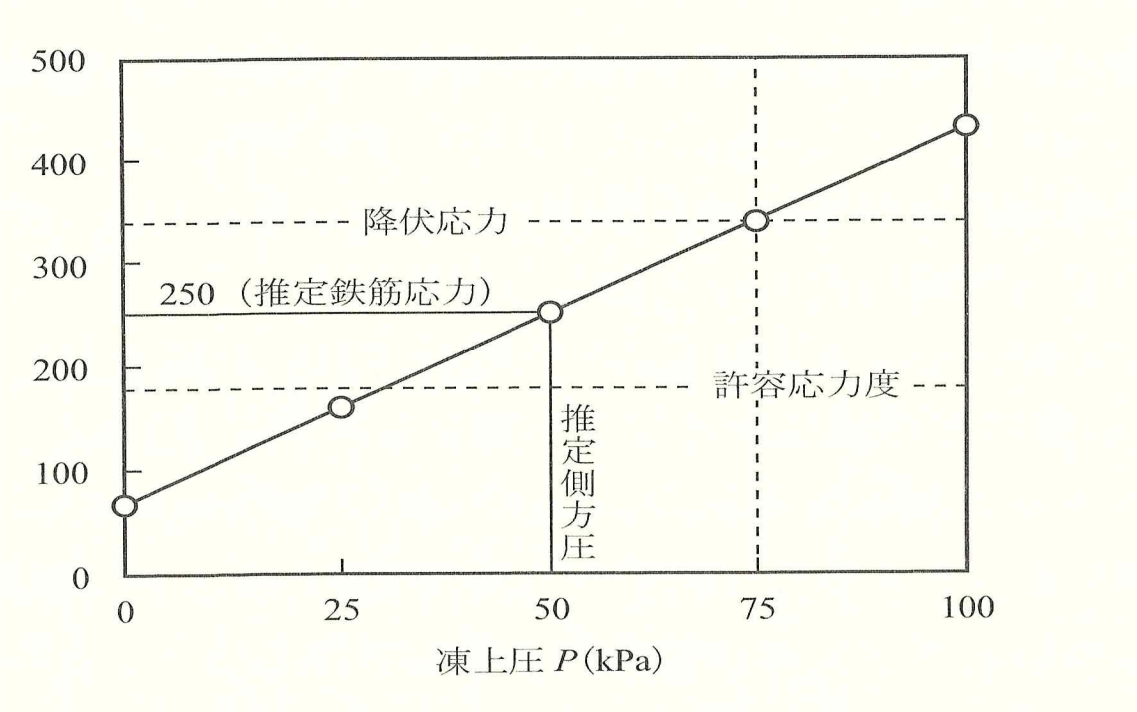
(마) 고찰

그림 3.15은 박스 컬버트에 동상압이 작용했을 때의 하중개념도이다. 엄동기에 변화하는 철근응력상태를 추정하기 위해 박스 컬버트에서 통상 설계시는 고려하지 않는 측압(동상압)을 25, 50, 75, 100KPa의 4단계로 나누어 부가하고, 철근응력을 평면골조해석으로 구하였다.



<그림 3.16> 동상토압 작용시의 하중 개념

그림 3.17은 철근응력과 동상압의 상관도이다. 동상압의 추정은 문헌(1) 에 나타난 값(130KPa)을 현장에서 관측한 동토두께(30cm)에 비례적으로 대입, 계산하여 산출한 것이다. 그 결과 동상압이 약 50KPa이 되었다. 이 동상압에 대응하는 철근응력을 그림 3.8에서 구하면 약 250MPa가 된다. 철근에는 항복응력까지는 이르지 않았지만 허용응력을 상회하는 인장응력이 작용한 것으로 생각된다.



<그림 3.17> 철근응력과 동상압의 관계

한랭지에 설치된 박스 컬버트에 대하여 주변 뒷채움흙의 동상특성과 지중온도, 철근응력 및 균열 폭의 변화를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

○ 측벽부의 지중온도가 0℃ 이하로 나타나는 범위는 내공측으로부터 약 1.3m(1.28~1.36m)의 범위이다. 또한 정판부에 대해서는 내공측으로부터 2.10m, 지표면으로부터는 1.75m였다.

○ 철근응력 및 균열변위는 내공(內空)온도와 밀접한 관련이 있다. 즉, 내공온도가 상승하면 인장응력은 완화하여 균열이 좁혀지는 것을 관측하였다.

이상의 결과로부터 박스 컬버트의 균열은 뒷채움흙의 동상현상에 의한 동상압의 작용으로 발생했다고 판명되었으며, 당초 설계 시는 고려하지 않았던 사실이었다.

제 4 장 국내 동결융해 피해지역 흙에 대한 실내 시험

4.1 동결 융해 피해 지역 흙의 기본 성질

가. 시료 채취 장소

충청북도 ○○의 중앙선 △△터널 주변, 동상 및 융해 피해가 발생한 철도 노반에서 흙시료를 채취하였다.

이곳은 겨울철 기온이 낮고, 철도 노반이 동상·융해 피해를 입기 매우 쉬운 환경에 놓여 있다. 관리처에서는 노반 밑으로 플라스틱 배수 파이프를 설치하였으나, 주변의 콘크리트 주 배수로의 경사가 아주 완만하여 전체적인 배수가 잘 이루어지지 못하는 까닭에 매년 동상대책에 고심을 하고 있는 현장이다.



<사진 4.1> 흙시료 채취 장소(동결융해 피해를 입은 △△터널 부근)

나. 흙 시료의 특성

미공병단은 동결 가능한 흙을 동결 가능성이 작은 순서대로 F1, F2,F3,F4 순으로 분류하였다. F1군은 동결가능성이 있는 자갈질 흙으로 0.02mm 보다 가는 입경을 3～10% 포함한 흙이다. F2군은 자갈질 흙이 0.02mm보다 가는 입경을 10～20% 포함하고 있거나 모래질 흙인 경우 3～10% 포함한 것이고, F3군은 자갈질의 흙이 0.02mm보다 가는 입자를 20% 이상 가지고 있거나 모래질 흙인 경우 15%이상인 경우, 그리고 소성지수가 12%이하인 흙이 이에 속한다.

동상을 가장 많이 받는 F4군은 실트, 소성지수가 12% 이상인 점토, 대단히 가는 실

트질 모래 (입경이 0.02mm이하의 함량 15%이상), 호상점토 등을 포함한다. 이 분류법에서 세립분의 함유량이 많을수록 동결이 일어나기 쉽다는 것을 알 수 있다(Linell, 1973).

<표 4.1> 동상 가능성 판별을 위한 흙의 분류(Linell et al, 1963)

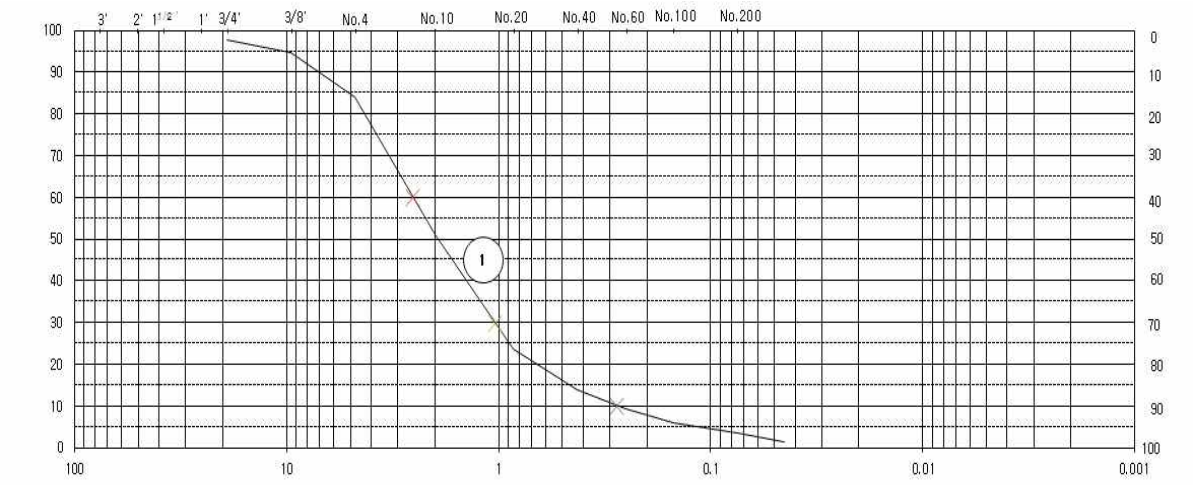
미공병단의 동상성 흙 분류	흙의 종류	통일분류법에 의한 토질 분류	0.02mm보다 가는 입경의 비율 (%)
F1	자갈	GW, GP, GW-GM, GP-GM	3～10
F2	자갈	GM, GW-GM, GP-GM	10～20
	모래	SW, SP, SM, SW-SM, GP-GM	3～15
F3	자갈	GM, GC	20이상
	모래	SM, SC	15이상
	점토	CL, CM (PI가 12%이하)	-
F4	실트	ML, MH	-
	대단히 가는 실트질 모래	SM	15이상
	점토	CL, CL-ML (PI가 12%이상)	-
	세립 퇴적토	CL, ML, SM; CL, CH, ML; CL, CH, ML, SM	-

다. 흙 시료의 물리적 특성

채취한 시료에 대해 입도분포시험(KS F 2302), 비중시험(KS F 2308), 다짐시험(KS F 2312), 투수시험(KS F 2322)을 실시하였으며, 그 결과는 표 4.2와같다. 시료분석 결과 이 시료는 비교적 세립분의 비율이 적었으며 모두 투수계수가 작은 흙이라는 것을 알 수 있었다.

<표 4.2> 흙시료의 기본 물성치

채취 장소	USCS	Passing No. 200 (%)	LL (%)	PI	Gs	γ_{dmax} (kN/m^3)	w_{opt} (%)	$k_{15℃}$ (cm/sec)	frost group
충북 ○○	SW	3.50	-	-	2.67	20.55	9.5	$1.59x10^{-5}$	F2



<그림 4.1> 흙 시료의 입도분포곡선

미공병단은 동결 가능한 흙을 동결 가능성이 작은 순서대로 F1, F2, F3, F4의 네 가지 군(群)으로 분류하였다. 이 토군들은 0.02mm 통과율이 높을수록, 소성지수가 작을수록 동결하기 쉽다는 점을 이용하였다.

한편 한국의 김상규 교수 등은 우리 나라에서는 미공병단의 연구결과와는 다르게 F4군의 흙에서 동결깊이가 최대로 나타나는 것이 아니라고 하였다. 그 까닭으로 우리 나라는 겨울철 동결기간이 영구동토국가에 비하여 상대적으로 짧아 F4나 F3로 분류되는 흙이 모세관작용에 의한 물을 충분히 흡입하기 전에 봄이 되면서 날씨가 풀리고, 지반이 융해하기 시작하기 때문일 것이라고 추측하였다. 그러나 필자의 견해는 다르다. 동상현상이 잘 일어나는 것과 동결깊이가 크게 나타나는 것은 별개의 문제다. 동상현상은 널리 알려진대로 실트에서 가장 많이 발생한다. 그러나 동결깊이는 흙의 열전도율과 관련이 있다. 해외에서 열전도율을 측정한 결과를 보면("토의 동결-그 이론과 실제", 일본토질공학회 발행 참조)모래는 석영 성분을 포함하고 있어서 열전도율이 점토나 실트 보다 크다. 따라서 모래 성분이 포함된 F2군 또는 F3군에 속하는 흙에서는 주로 실트나 점토로 구성된 F4군에 비하여 당연히 동결깊이가 더 크게 나타나는 것이다.

4.2 흙 시료에 대한 열전도율 측정

가. 흙의 열전도율 일반

일반적으로 흙의 열전도율은 밀도, 함수비, 입자의 형태, 온도, 간극수의 상태와 고체, 액체 및 기체 성분에 의존하며, 동상 시에는 함수비와 얼음-물의위상(phase)관계에 크게 좌우된다.

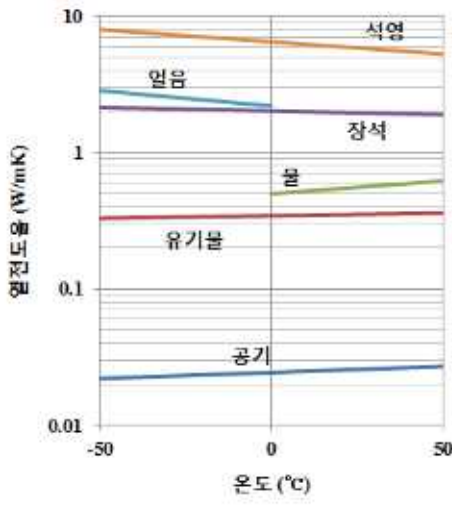
일정한 함수비에서 건조밀도가 증가하면 열전도율도 증가하는데 그 증가율은 다른 일정한 함수비에서도 거의 동일하다. 건조밀도를 고정시키고 함수비만을 증가시켜도 열전도율은 증가하며, 이때 동결, 미동결 상태와 상관없이 동일한 경향을 보인다

또한 함수비를 지닌 흙은 상온에 비하여 0℃ 이하의 온도에서는 열전도율이 증가하는 경향을 보인다.

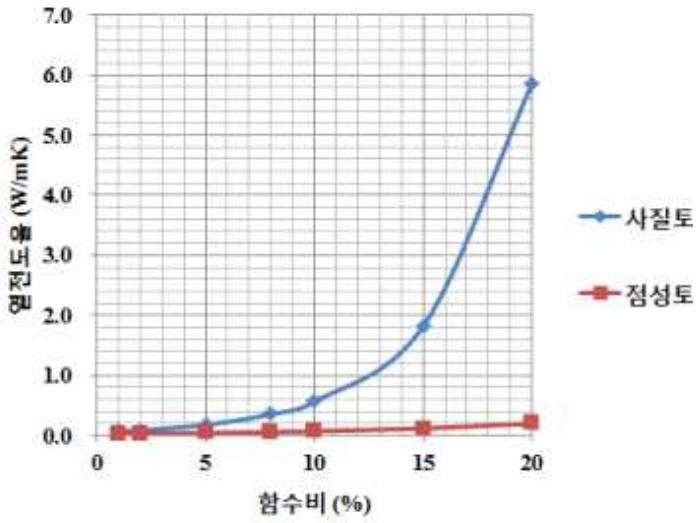
<표 4.3> 흙의 종류별 열전도율 가이드라인(Sundberg 1988)

흙의 종류	열전도율 ($W/m.K$)	
	비동결시	동결시
점토	0.81-1.1	2.0-2.2
실트질 점토	1.1-1.5	2.3-2.8
실트	1.2-2.4	2.3-3.2
모래(포화시료)	1.5-2.6	2.7-3.3
모래(불포화시료)	0.4-1.1	0.4-1.0
자갈(포화시료)	1.6-2.1	2.8-3.0
자갈(불포화시료)	0.7-0.9	0.8-0.9

무기질토(inorganic soils)는 열전도율이 다른, 여러 종류의 광물로 구성되어 있다. 일반적으로 흙의 굵은 입자들은 석영(quartz), 장석(feldspar), 휘석(pyroxene) 등으로 이루어져 있으며 잔 입자들은 카올리나이트(kaolinite), 일라이트(illite), 몬모릴로나이트(montmorillonite)와 같은 점토광물, 석영, 장석, 운모(mica) 등으로 구성되어 있다. 이들 광물 중 석영이 가장 높은 열전도율을 가지므로 석영의 함유량을 아는 것이 중요하다.



<그림4.2> 주요광물의 열전도율 (일본지반공학회 1982)



<그림 4.3>. 함수비에 따른 동토의 열전도율, 초기온도 -10℃ (일본지반공학회 1982)

나. 열전도율 측정

열전도율을 측정하는 방법은 크게 정상법과 비정상법으로 나눌 수 있다. 정상법은 원리에 충실하나 오랜 시간과 숙련된 기술을 요한다. 반면 비정상법은 실용화를 위해 상품화되는 경우가 늘고 있지만 그 중 저항법과 후랏슈법에서는 열전도율을 구하기 위해서 다른 측정치를 필요로 한다. 열선법은 열전도율을 신속하게 측정할 수 있는 방법인데 이를 개량 발전시킨 방법이 QTM식 프로브(probe)법이다. 이 QTM식 프로브(probe)법은 이미 알고 있는 열전도율을 가진 물질의 표면에 가열선(heater)과 열전대가 배치

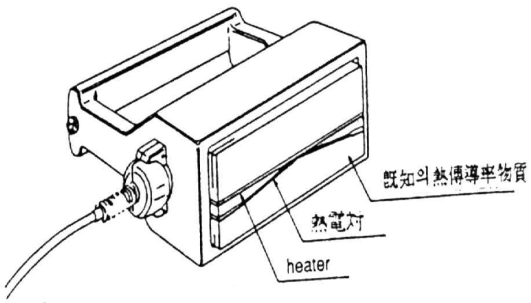
된 상태로서, 이 물질은 단열성이 좋으며 탄성이 있고 시료면과 잘 밀착도록 제작되었다.

<표 4.4> 열전도율 측정법의 종류(김영진 등, 2005)

종류	구분	비고
정상법	절대측정법 비교측정법	JIS A-143 R-2616 ASTM C-177 C-518
비정상법	저항법, 후랏슈법 열선법, QTM 법	ASTM D 2326 JIS R-2618

이 프로브를 사용해서 측정할 때에는 시료면 위에 프로브의 저면(5×10 cm^2)과 비슷한 면적의 평면부분이 있으면 되며, 시료면을 잘라 내거나 표면을 정밀히 다듬을 필요는 없다(김영진 등, 2005).





<사진 4.2> 열전도율시험기(QTM-500)의 모습과 프로브(Probe)의 구조

본 연구에 사용한 열전도율시험기(QTM-500)는 프로브를 시료 위에 얹고 가열선에 일정한 저항을 가진 전기를 흐르게 하여 프로브 표면에 있는 열전대의 기전력을 자기기록계로 기록하여 열전도율을 산출하는 원리를 이용하는 시험기다. 저항값과 온도에 따라 측정시간이 다르나 10℃ 부근에서 $I^2 = 3.000$일 때 3분 내외가 소요된다.

다. 열전도율시험 결과

열전도율은 No.10체를 통과한 흙 시료를 프로브(probe)와 비슷한 면적을 가진 플라스틱 용기($V = 460cm^3$)에 담아 측정하였다. 시료는 모두 24시간 이상 노건조한 것을 사용하였으며, 시험은 각각 3번씩 실시한 후 평균값으로 나타내었다.

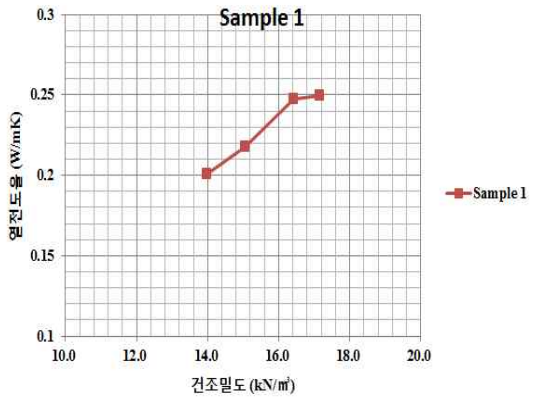
먼저 건조밀도에 따른 흙 시료의 열전도율 변화를 알기 위해 용기에 느슨하게 넣은 건조시료를 다짐봉으로 조금씩 다져 넣으며 건조밀도를 점차 늘려가며 열전도율을 측정하였다.

이어서 흙 시료의 함수비 변화에 따른 열전도율 변화를 알아 보았다. 함수비를 조절할 때는 건조 시료에 증류수의 양만을 조절하여 섞은 후, 질량을 측정하여 함수비를 계산하고, 그 때의 열전도율을 측정하였다.

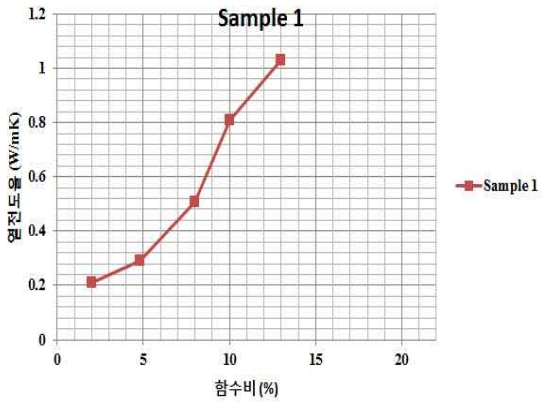
시험 결과, 시료의 건조밀도에 따른 열전도율은, 건조밀도가 증가할수록 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다.

함수비 변화에 따른 열전도율은 일정한 함수비까지는 서서히 증가하다 갑자기 큰 폭으로 상승하였다. 이 시험을 통해 흙 시료 보다 큰 열전도율을 갖는 물이 흙 시료의 간극을 채울수록 흙의 열전도율도 같이 증가한 것으로 판단된다.

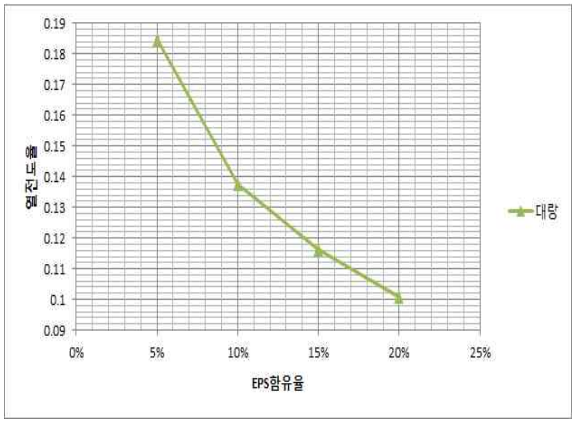
다음에 흙의 단열효과를 높이기 위하여 EPS 조각을 흙에 섞은 후 열전도율을 측정하였다. 그 결과 EPS 혼합율이 증가할수록 열전도율이 낮아졌다.



(가) 건조밀도 변화별 열전도율



(나) 함수비 변화별 열전도율



(다) EPS조각 혼합율별 열전도율

<그림 4.4> 흙 시료의 여러 조건별 열전도율 측정 결과

4.3. 흙 시료에 대한 부동수분 시험

가. 동토 속의 부동수분

동토 속에 0(℃) 이하에서도 얼지 않는 수분이 존재하는데, 이를 흔히 부동수(unfrozen water)라고 부른다. 따라도 동토(frozen soils)는 흙입자, 빙정(ice lenses), 부동수, 공기(불포화된 흙일 경우)로 구성되어 있다.

겨울철 도로나 철도의 노상에 외부의 찬 공기가 침투하면서 발생하는 동상(frost heaving) 과정에서 부동수는 중요한 역할을 한다. 동상발생과정을 미시적 모델로 살펴보면 동결면(freezing front)과 빙정이 생성하는 면(ice lenses segregation front) 사이에

지극히 좁은 한 영역이 존재하는데 이를 동결영역(freezing frings)이라고 한다. 이 영역은 흙입자와 그 주위를 둘러싸고 있는 얇은 부동수막 및 간극빙으로 구성되어 있는데, 이곳의 부동수막을 통하여 미동결토의 하부로부터 모세관현상에 의해 흡수된 물이 빙정까지 이동하는 것이다. 그리고 빙정이 점점 성장하여 지표면이 팽창하여 오르게 된다. 또한 인공동결공법을 적용할 때도 부동수의 양에 따라서 동토의 강도가 달라지므로 부동수를 고려하여야 한다.

동토중의 부동수의 양은 흙의 비표면적 및 입자배열 상태, 그리고 온도 등에 따라서 달라지는 것으로 알려져 있다.

여기서는 동토를 구성하고 있는 한 요소인 부동수가 동토내에 존재하는 까닭, 부동수의 측정법, 그리고 부동수기 동토의 제반 성질에 미치는 영향 등에 대하여 살펴 보고, 실제 동상이 자주 발생하는 철도 노반에서 채취한 흙 시료에 대한 부동수분 측정 결과를 소개하고자 한다.

나. 동토중에 부동수가 존재하는 까닭

Uhlmann 과 Kuroda는 동토중에 부동수가 존재하는 까닭을 계면화학적 견지에서 설명하였다. 즉, 얼음과 흙입자가 직접 접촉하였을 때의 계면자유에너지 보다 얼음과 흙입자가 부동수를 사이에 지니고 접촉했을 때의 계면자유에너지의 합이 작기 때문에 부동수가 흙 입자 표면에서 안정적으로 존재한다고 보고 식(4.1)과 같은 식을 제시하였다.

$$\sigma_{is} - (\sigma_{iw} + \sigma_{ws}) > 0 \quad \text{.....(4.1)}$$

여기서, σis : 얼음과 흙입자간의 계면자유에너지
σiw : 얼음과 부동수간 계면자유에너지
σws : 부동수와 흙입자간 계면자유에너지

동토중에서 부동수가 존재하는 이유는 부동수의 수막의 두께가 충분히 두꺼워 표면력을 무시할 수 있는 일반적인 물(bulky water) 보다 낮은 화학능(chemical potential)을 갖고 있기 때문으로도 볼 수 있는데, 흙 속의 물의 화학능을 저하시키는 원인에는 다음의 3가지가 있다.

(1) 용질에 의한 응고점 강하

흙 속의 물은 각종 용질을 함유하고 있으므로 응고점 강하가 일어난다. 용질의 농도가 낮을 경우, 응고점 강하량(ΔTf)은 중량 mole농도(C)를 이용하여 식(4.2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta T_f = K_f C \quad \text{.....(4.2)}$$

여기서 Kf는 단위농도(1mol/kg)당의 응고점 강하량(℃)이며, 흙 속의 물의 경우 1.86℃ kg/mol의 값을 갖는다

(2) 모관의 영향에 의한 응고점 강하

흙의 간극은 연속되어 있는 구조로서 모관의 다발로 고려할 수 있는데, 이 모관내의 물은 모관의 벽면과 상호작용을 하여 밑으로 볼록한 형태의 고면을 이루고 있으며, 일반적인 물보다 화학능이 낮다. 이 모관내의 물이 동결했을 때 응고점 강하량(ΔTf)은 모관의 반경(r)을 이용하여 식(4.3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta Tf = \frac{2 V_W T_M \sigma_{iw}}{L_r} \quad \text{.....(4.3)}$$

여기서, Vw : 물의 비용적(cm3/g), 0℃에서 1.000597
TM : 일반적인 물의 동결온도(oK), 273oK
L : 동결잠열(cal/g), 물의 경우 80cal/g
σiw : 얼음과 부동수간의 계면자유에너지로서 35erg/cm2로 보면

식(4.3)의 ΔTf(℃)와 반경 r(m)의 사이에서 식(4.4)와 같은 관계가 얻어진다.

$\Delta Tf = 5.7 \times 10\text{-}8\ (1/r)$.....(4.4)

식(4.4)는 모관의 영향에 의한 응고점 강하는 모관반경에 반비례하며, 예로서 모관반경(r)이 0.1μm일 때 응고점 강하량은 0.57℃가 된다는 뜻이다.

(3) 흙입자 표면의 흡착력장의 영향

점토입자 표면이 물에 닿으면 표면 이온이 부분적으로 분리되어 점토입자 표면이 음의 전기를 띠게 된다. 전장의 영향으로 점토입자 표면 부근의 액상에 식(4.5)와 같이 표시되는 양이온 분포가 생긴다. 이것을 전기확산 2중층(electrical diffuse double layer)이라고 부른다.

$$C = C0\exp\left(\frac{-ze\psi}{kT}\right) \quad \text{.....(4.5)}$$

여기서, C : 중량 mole 농도
e : 음이온의 전하
ψ : 물에 대한 상대 전위
C0 : 일반적인 물의 농도
k : Boltzmann 정수
T : 절대온도
z : 이온의 원자가(ionic valence)

점토입자의 표면 전하가 마이너스이므로 ψ도 마이너스 값을 갖게 되어 식(4.5)에서 우변전체의 값은 C0보다 큰 값이 된다. 양이온의 농도는 식(4.5)에서 표시한 바와 같이 흙입자 표면 근처에서 크게 되기 때문에 흙입자 표면 근처에 흡착되어 있는 물의 응고점 강하량은 크게 된다.

식(4.1) 식(4.2) 식(4.3)의 용인들이 영향을 미쳐 주어진 온도조건에서 동토중의 부동

수분량이 결정된다. 부동수분이 많은 흙은 비표면적이 큰 점토분을 많이 함유하고 있으므로 이들 중 식(4.3)의 요인이 가장 중요하다.

다. 부동수분 측정법

부동수분 측정방법으로서는 부동수의 얼음의 물성치의 차에 착안한 다양한 방법들이 이용되고 있는데, 현재 이용되고 있는 방법들을 표4.5에 소개하였다.

표4.5에서 소개하는 방법 중 현재 가장 널리 이용되고 있는 calori meter법과 전자기 공명자치법에 대하여 별도로 설명한다.

(1) Calori Meter법

공시체에 일정한 열량을 공급하고, 공시체의 온도상승을 측정한 후, 공시체의 겉보기 비열을 측정한다. 온도를 T로부터 ΔT만큼 상승시켰을 때의 겉보기 비열(CT)은 동토의 비열과 온도변화에 의한 얼음의 융해잠열을 고려하여 식(4.6)에 의해 구할 수 있다.

<표 4.5> 동토의 부동수분 측정법

측정방법	측정원리	특징
Calori Meter법	물과 얼음의 비열의 차이 및 얼음의 융해잠열을 이용함	측정시료에 제한이 없으며, 널리 이용되고 있음. 얼음의 융해에 의한 발열량의 측정이 곤란한 단점이 있음
전자기공명장치법 (Nuclear Magnetic Resonance)	자장중의 얼음과 부동수 양자의 완화시간의 차이를 이용함	측정은 신속하나, 고가임. 화산재 등 자성체를 포함한 흙에서는 측정이 곤란함.
TDR(Time Domain Reflectometry)	얼음과 부동수의 적외선 흡수계수의 차이를 이용함	측정은 신속하나 미동토의 겉보기 유전률과 검량선이 필요함
Fourier환적외분광법	얼음과 부동수의 적외선 흡수계수의 차이를 이용함	측정이 신속하나 고가임. 시료의 두께는 0.1mm 정도임
빙점강하법	토중수의 동결온도가 흙의 함수율에 의존하는 원리를 이용하는 방법임	측정이 간단하며, 장비의 가격도 저렴함. 온도가 낮은 영역에서 정도가 떨어지는 단점이 있음.
빙접해법	건도된 시료를 빙판 사이에 끼워 넣은 후 소정의 온도에서 함수량의 증가량을 측정	측정법은 간단하나, 하나의 시료측정에 많은 시간이 걸리는 단점이 있음

$$C_T = X_S C_S + X_W C_W + X_i C_i + \frac{1}{\Delta T}\int_T^{T+\Delta T} L\frac{\partial W_u}{\partial T} dT \quad \text{.....(4.6)}$$

여기서, C_S :토립자의 비열 X_S : 토립자의 질량

C_W : 물의 비열 X_W : 물의 질량

C_i : 얼음의 비열 X_i : 얼음의 질량

L : 잠열(334KJ/kg)　　W_u : 부동수분량(%)

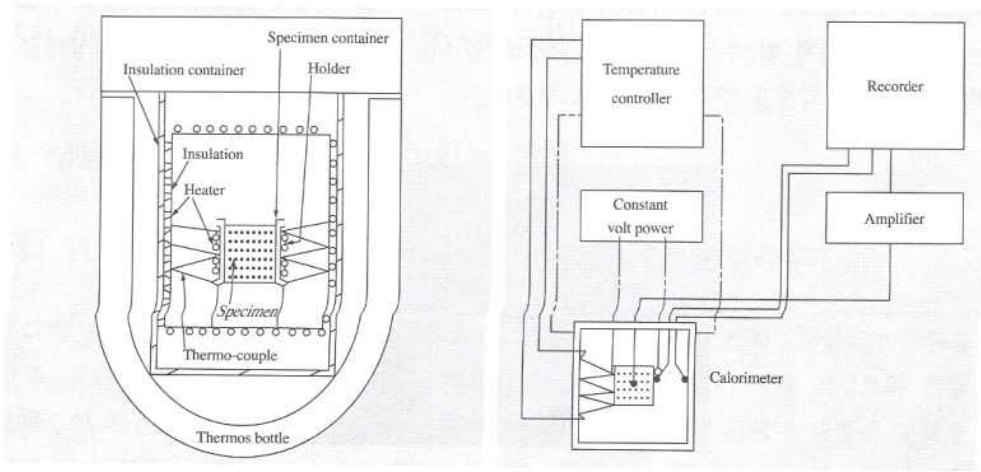
식(4.6)을 변형하여 온도 T에서부터 T+ΔT까지 부동수분의 증가량(ΔWu)을 식(4.7)로부터 구할 수 있다.

$$\Delta W_u = \frac{\Delta T}{L} C_t - (X_s C_s + X_W C_W + X_i C_i) \quad \text{.....(4.7)}$$

Calori Meter로 측정할 때는 통상 부동수분을 무시할 수 있는 온도인 -80℃부터 측정을 개시한다.

온도 상승속도를 0.2~0.3℃/min로 하여 각 온도에서의 부동수분을 측정한다. -80℃부터 0℃까지 전 측정에 소요되는 시간은 약 6시간이다.

그림 4.5에서는 Calori Meter의 모습 및 구성도를 보여 주고 있다



<그림 4.5> Calori Meter의 모습 및 구성도

(2)전기자기공명(NMR)법

동토시료에 일정한 시간 동안 자장을 가하고 난 후 고주파 펄스를 중단할 때 일어나는 양자의 수화과정이 고체인 얼음과 부동수에서 서로 다른 점을 이용하여 부동수분량을 측정하는 방법이다.

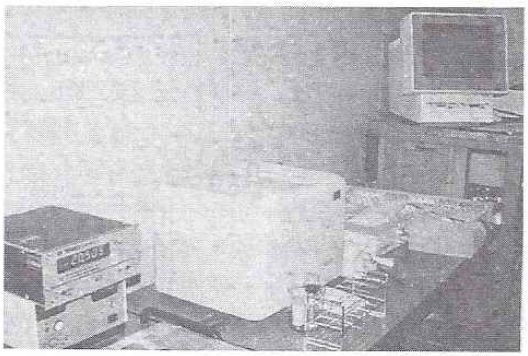
사진 4.3에서는 북해도대학 저온과학연구소에서 보유하고 있는 핵자기공명장치의 모습을 보여 주고 있고, 그림 4.6에서는 측정과정의 흐름도를 보여 주고 있다. 그림 4.6에서 보는 바와 같이 이 장치는 시료를 담는 용기와 용기를 넣는 접속상자, 그리고 측정과정 전체를 조절하는 한편 측정결과를 읽는 컴퓨터로 구성되어 있다.

시료를 담은 용기를 항온조에서 일정 온도로 동결시킨 후 접속상자에 넣고 측정을 하는데 시료용기와 접속상자가 닿는 부분에는 NMR 신호를 검출하기 위한 코일과 정자장을 주기 위한 영구자석이 내재되어 있다. 접속상자 중심부에는 고주파 펄스를 가하는 가동판과 검출된 NMR 신호를 증폭시키기 위한 증폭기가 있다.

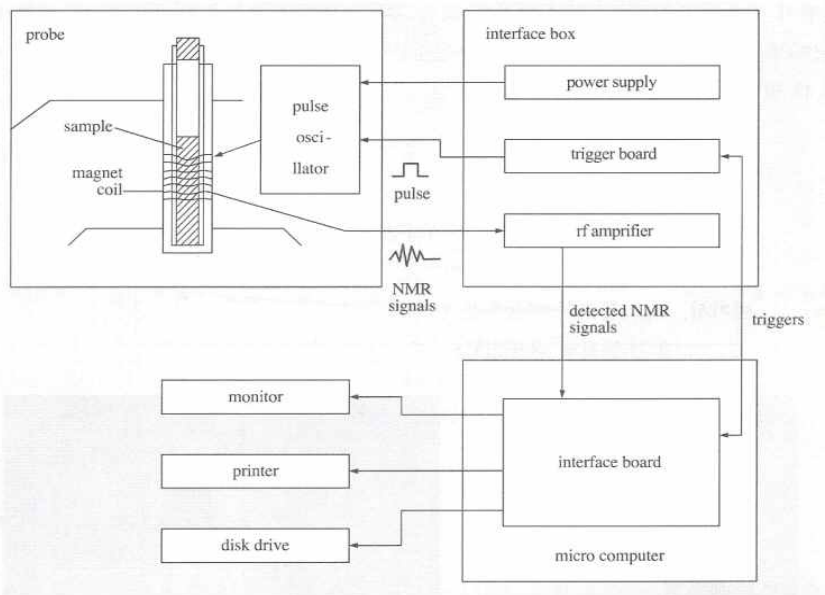
측정원리는 다음과 같다.

흙시료 중의 물분자의 양자의 핵은 회전에 의한 자기모멘트를 지니고 있다. 흙입자가 정자장중에 놓이면 양자의 핵이 팽이 모양으로 시차운동을 하는데 시차운동과 같은 주파수의 진도자장을 주면 양자의 자기모멘트가 축방향으로부터 약간씩 경사지게 된다. 자기모멘트축의 정자장으로부터의 경사각(α)은 고주파펄스를 가하는 시간(t)에 비례하므로 시간을 적당히 조절함으로써 90o 또는 180o 경사지게 할 수 있다. 이때 고주파 펄스를 중단하면 다시 원래의 평형상태로 회복되는데 이 과정을 완화(緩和)라고 부른다.

이 때 생기는 자화(磁化)의 변화를 검출코일로 측정한다. 핵자기공명의 자유유도 감쇄신호의 강도는 얼음과 부동수중의 양자의 양에 의해 결정되므로, 자유유도 감쇄신호의 최대(peak)값으로부터 부동수분량(%)을 구한다.



<사진 4.3> 전자기공명장치의 모습
(북대도대학 저온과학연구소 보유 : 미국 PRAXIS사 제품)



<그림 4.6> 전자기공명장치의 구성도

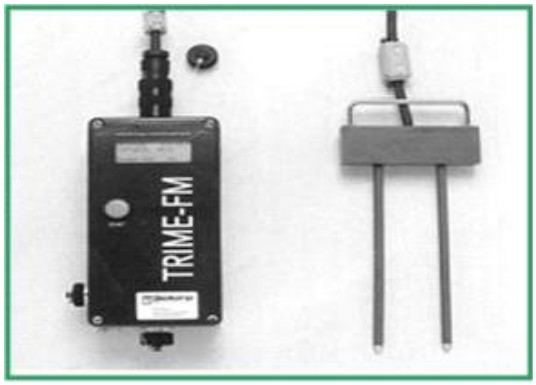
라. 동상 발생지역 채취 흙시료의 부동수분 측정 결과

2011년 11월부터 2012년 3월 사이에 동상이 발생한 국내 몇몇 철도 노반에서 채취한 흙 시료을 이용하여 부동수분을 측정하였다.

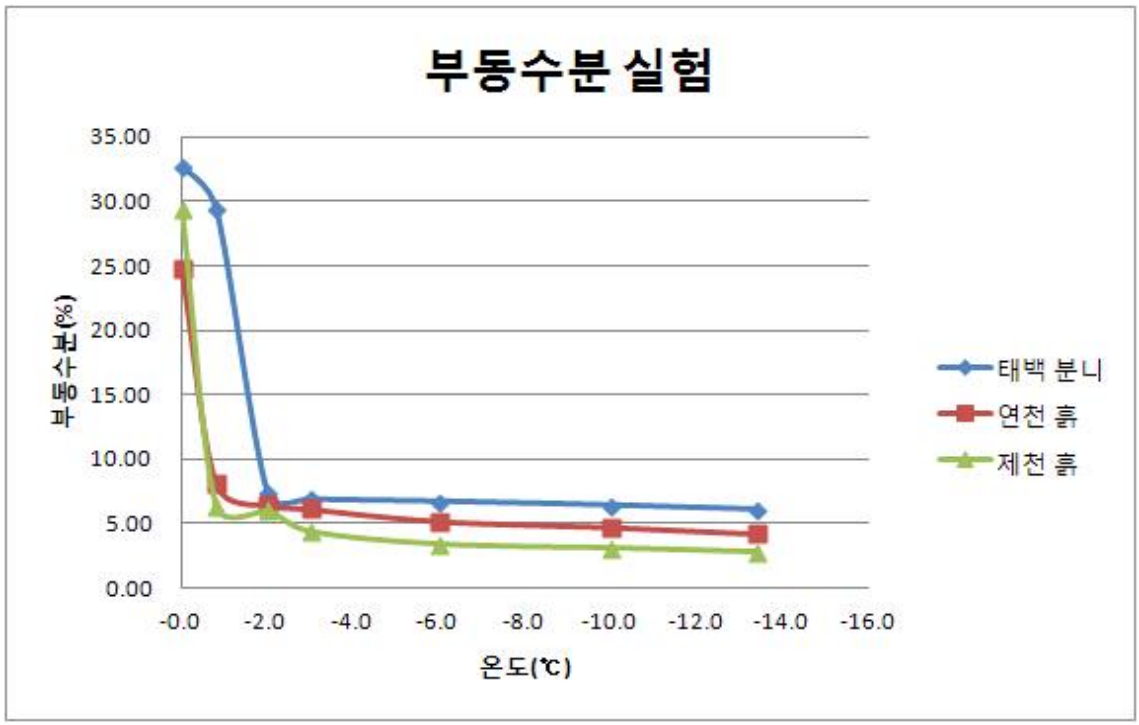
먼저 흙 시료를 포화시킨 후 용기에 담고, 사진 4.4에서 보여 주는 TDR(Time Domain Reflectometry)의 probe를 용기에 넣은 후 시료 내의 온도를 측정하기 위한 정밀온도계를 probe 옆에 설치한 후 온도 변화에 따른 부동수분을 측정하였다.

그 결과 흙 시료의 온도가 낮아질수록 부동수분이 감소하는데 특히 0℃~ -2℃ 사이에서 급격하게 부동수분이 감소하는 것을 알 수 있었다. -2℃ 이하에서는 아주 서서히 흙 속의 부동수분이 감소하는 경향을 보였다.

온도가 낮아져도 상대적으로 부동수분이 많은 흙은 동상성이 활발한 흙이다.



<사진 4.4> TDR 시험기의 모습



<그림 4.7>. 국내 철도 동상발생현장 흙 시료의 온도 변화별 부동수분 변화

4.4 흙 시료에 대한 동결토압 시험

가. 실험의 목적

앞의 3.2절, '일본의 흙막이 구조물 피해 사례' 및 3.2.2절 '일본 북해도의 박스 컬버트 파손 사례'에서 살펴 본 바와 같이 옹벽이나 사면 보강용 콘크리트 격자틀, 소단 배수로 등이 동결융해에 의해 파손된다.

본 실험에서는 국내 한랭지 옹벽이나 교대의 뒷채움재로 널리 쓰이는 흙시료, 중앙선 철도 △△역 노반에서 채취한 화강풍화토의 함수비가 변화할 때 흙막이 구조물에 작용하는 동결토압이 어느 정도 되는지, 그리고 단열재(PE골재)를 흙시료에 섞었을 때 동결토압이 얼마나 감소하는지 측정하였다.

나. 실험 방법

(1)냉동챔버

온도를 영하 30℃에서 영상 50℃까지 자유롭게 설정할 수 있고, 싸이클을 조절할 수 있는 사진 4.5와 같은 냉동챔버를 제작하였다. 이 냉동 챔버는 일정한 온도를 낮추거나 유지하는 방과 상온을 유지하여 컴퓨터나 Grant 같은 데이터 로거를 보관할 수 있는 방으로 구성되어 있다.



<사진 4.5> 냉동 챔버

(2) 동결토압 시험기

현장에서 채취해 온 흙시료를 동상시험기에 넣고 동상시험을 하면서 동결토압을 측정한 시험기를 사진 4.6에서 보여 주고 있다. 시험기의 규격은 직경 30cm ×높이 20cm 이며, 하부에는 물을 공급하는 호스가 연결되어 있고, 이 호스의 중간에는 물이 얼지 않게 물의 온도를 항시 2~4℃로 유지시키는 전자장치를 설치하였다. 시험기 윗부분에

는 load cell을 설치하여 동결시 동결토압을 측정할 수 있도록 하였다.

시험기 내부에 담긴 흙시료에는 위로부터 바닥까지 상, 중, 하 3등분으로 나누어 T-type thermocouple을 설치, 냉동챔버를 가동시킬 때 흙시료 속의 온도가 어떻게 변화하는지 측정할 수 있게 하였다.

thermocouple과 load cell은 각기 다른 data logger에 연결하여 시간 변화에 따른 흙시료 속의 온도변화와 동결토압 변화를 자동으로 기록할 수 있도록 하였다.



<사진 4.6> 동결토압 측정장치

(3) 함수비 변화별 흙시료 준비

흙시료를 4.1절 표4.2에서 구한 최적함수비(9.5%)상태, 최적함수비 보다 3.5% 높은 상태 (13.5%), 최적함수비 보다 7% 높은 상태(16.5%) 되게 채워 넣은 후 3차례에 걸쳐 시험을 실시하였다. 냉동챔버의 온도는 매 번 -25℃로설정한 후 72시간 동안 동결시켰다. 이때 동상시험기 외부로부터 물을 공급하지 않는 폐쇄형 동상시험(closed system)을 실시하였다. 이러한 과정에서 흙시료가 얼면서 팽창하는 동결토압 변화와 흙시료 내부의 온도변화를 측정하였다.

단열재를 흙시료에 혼합할 경우 동결토압이 변화되는지 알아 보기 위하여 직경 19~20mm 되는 PE(polyethylene)골재를 사용하였다.(사진 4.7참조)

이 PE골재는 농촌 비닐하우스에서 발생하는 폐비닐을 충남의 ○○재활용업체에서 흙이 묻은 채로 170~200℃에서 녹였으며, 본 연구팀이 필요한 크기로 자른 골재이다. 본 실험에 앞서 PE골재에 대한 비중시험을 통해 이 골재의 비중이 1.08로서 가벼운 골재임을 확인하였고, 용출실험을 통하여 중금속 등의 환경 유해 물질이 포함되어 있지 않다는 사실과, LA마모실험을 통해 마모율 2.36% 이내임을 확인하였다.



<사진 4.7> 흙 시료의 동결토압 감소를 위해 사용한 PE골재

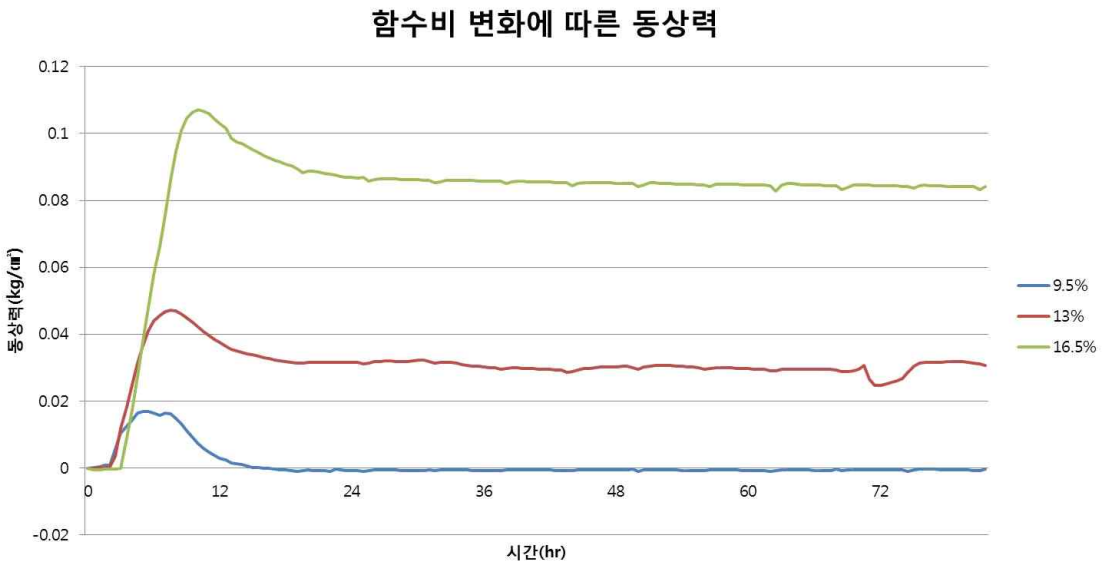
다. 실험 결과

그림 4.8에서는 본 실험에 사용한 흙시료에 동상이 발생할 때, 함수비 변화에 따라 동결토압이 어떻게 달라지는지 보여 주고 있고, 그림 4.9(a)(b)(c)에서는 시간변화 및 함수비 변화별 흙시료 내부의 온도분포 변화를 보여 주고 있다.

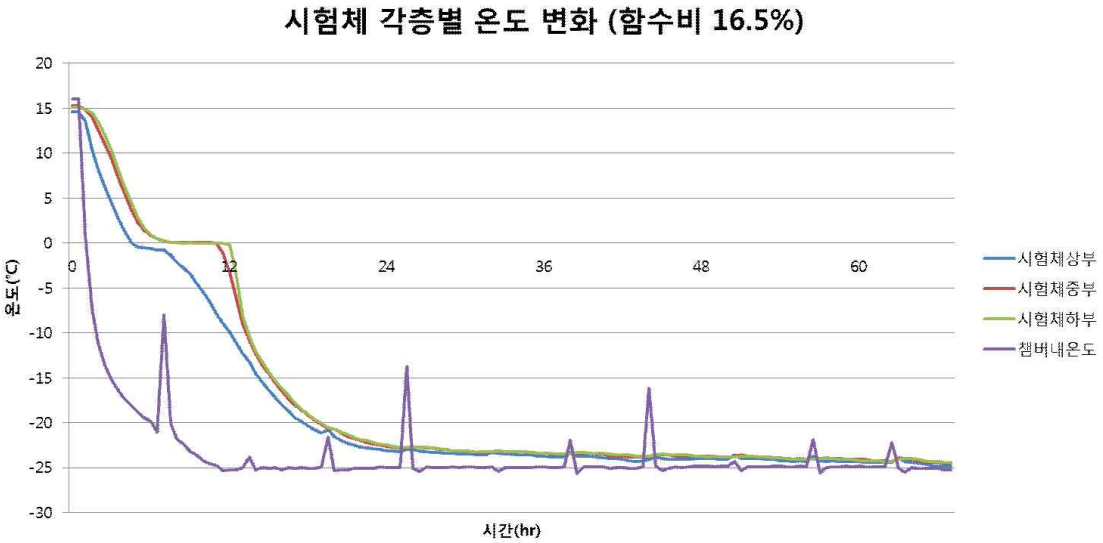
함수비가 증가할수록 동결토압이 급하게 증가하고 있으며, 흙시료 내부의 온도는 함수비에 관계없이 시간이 경과할수록 비슷한 형태의 곡선을 그리며 낮아지고 있다. 또한 함수비가 증가할수록 동결토압의 최대치(peak)가 나타나는 시간이 약간씩 길어지고 있었다.

함수비가 최적함수비(9.5%)일 때는 최대동결토압이 0.015kg/cm2 로 나타났고, 함수비가 13%일 때는 0.048 kg/cm2, 함수비가 16.5%일 때는 0.106 kg/cm2으로 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

이 동결토압 실험을 통해 옹벽이나 교대 뒷채움흙에 가을철 강우시 빗물이 침투하거나 지하수위가 상승하여 함수비가 증가할 경우 매우 큰 동결토압이 작용한다는 사실을 알았다. 즉, 흙막이 구조물 뒷채움흙에 지하수가 계속 공급되지 않는, 폐쇄형 동상 조건일지라도 동결토압이 매우 크게 작용하여 구조물을 파손시킬 수 있다는 사실이다.

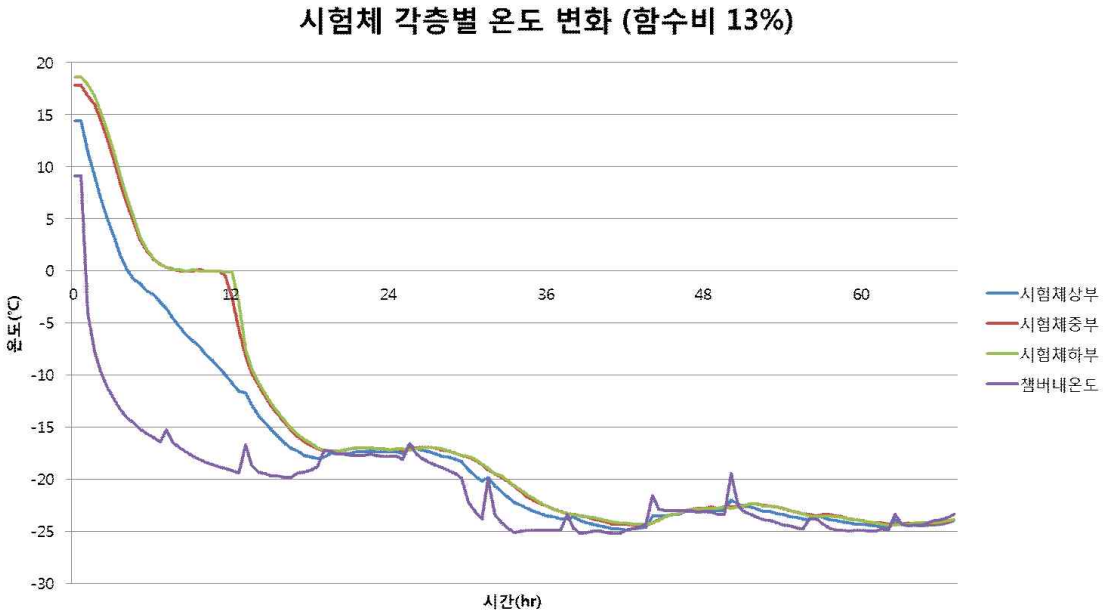


<그림 4.8> 함수비 변화에 따른 동결토압 변화



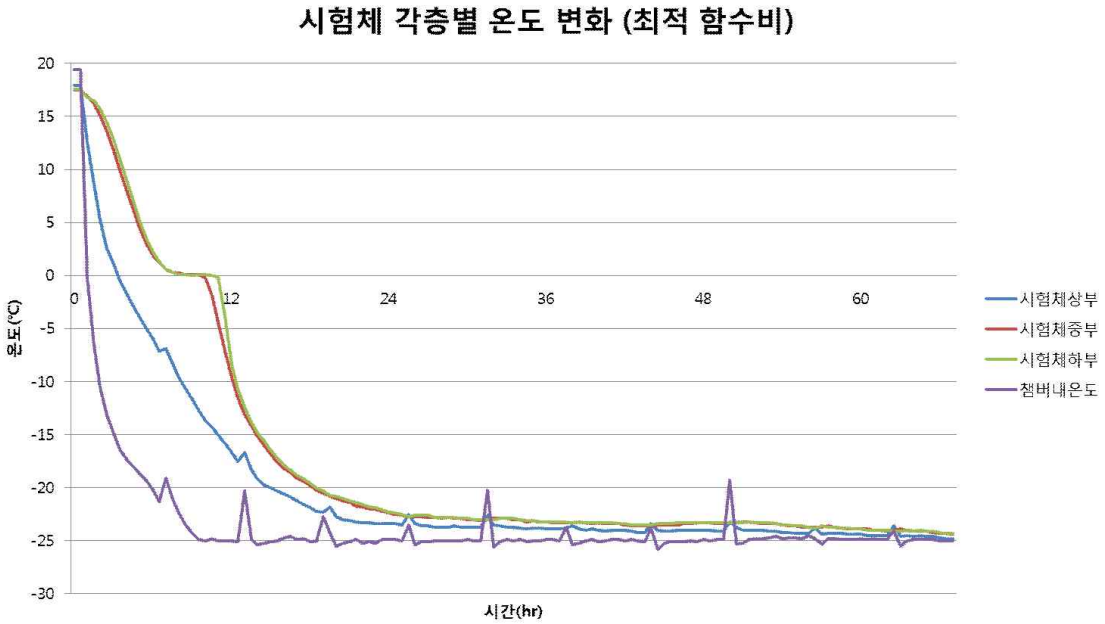
(a) 최적함수비 + 7% 상태

<그림 4.9> 경과 시간별 흙시료 내부 온도변화



(b) 최적함수비 + 3.5% 상태

<그림 4.9> 경과 시간별 흙시료 내부 온도변화



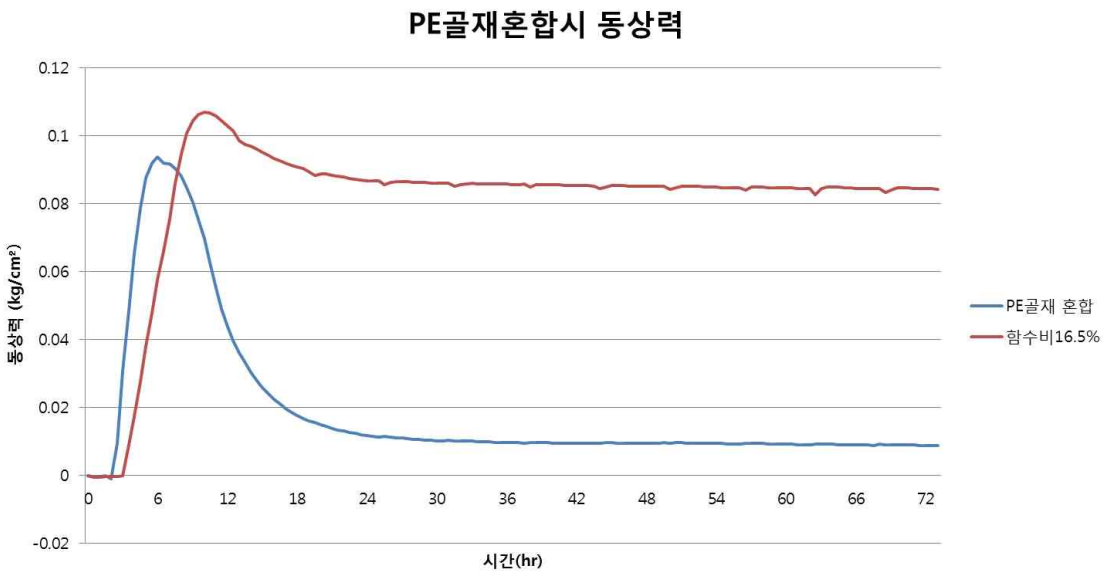
(c) 최적 함수비 상태

<그림 4.9> 경과 시간별 흙시료 내부 온도변화

그림 4.10은 동상시험시 흙시료에 직경 13~19mm 되는 PE골재를 중량비로 2.5% 만큼 치환하여 혼합한 후 동상력을 측정한 결과이다. 이때 흙의 함수비는 16.5%로 주절하였다.

실험 결과 PE골재를 섞은 시료에서는 동결토압이 약간 작게 나타났다. 그 이유로서는 PE골재를 혼합함에 따라 해당양만큼 흙 속의 간극수가 줄어들었고, PE골재의 열전

도율이 흙의 열전도율보다 작기 때문에 동결현상이 더 더디게 나타났기 때문으로 사료된다. 한편, 일반 흙의 경우도 점성토의 동결토압이 사질토의 동결토압보다 더 크게 나타나는데, 그 이유는 점성토가 사질토에 비하여 부동수분량이 더 많기 때문이다. 본 시험에서도 입자가 굵은 PE골재를 혼합함으로써 부동수분이 감소하였기 때문으로도 풀이된다.



<그림 4.10> 경과 시간별 흙시료+PE골재의 동상력 변화

제 5 장 한랭지대 토목 구조물의 동상 방지 방안

5.1 흙막이 구조물 뒷채움 흙의 동상 피해 방지 방안

가. 치환공법을 사용한 동상 대책

옹벽과 같은 흙막이 구조물 뒷채움재로서는 동상이 일어나기 어려운 재료, 배수가 잘 되는 재료를 치환한다. 이러한 재료로서 모래, 자갈, 직경 13~19mm 되는 PE골재, 크기 2~3cm 정도 되는 EPS조각을 시멘트와 혼합한 재료, 저회(bottom ash), 크기 19mm 이내의 폐타이어 조각 등을 사용할 수 있다.

그러나 교대 뒷채움재의 경우는 동상방지효과 뿐만 아니라 차량하중에 의한 지지력도 고려해야 하므로 자갈이나 모래, 직경 13~19mm 되는 PE골재 등을 사용하는 것이 효과적이라고 생각된다.

특히 필자가 개발한 PE골재는 농촌에서 수거한 폐비닐을 흙이 묻은 채로 녹여 13~19mm 크기로 절단한 골재로서, 내부마찰각이 자갈 보다 큰 40° 이상 되며, 열전도율도 자갈이나 모래의 1/20 이하인 0.092kcal/m h·℃이고, 큰 지지력이 기대되는 우수한 재료이다 .

일반적으로 이용되고 있는 모래나 자갈 등의 동상방지 재료의 입도 기준은 다음과 같다.

(ⅰ) 자갈: 0.075mm 체르 통과하는 양이 6% 이하인 것

(ⅱ)흙과 모래를 섞은 재료 : 전 시료에 대하여 0.075mm체 통과량이 4.75mm체 통과량에 대하여 9% 이상 되도록 혼합한 것. 또한 4.75mm체를 통과하는 모래 성분에 포함된 실트 성분이 6% 이하로 되어야 함.

(ⅲ)쇄석 : 전 시료에 대하여 0.075mm체 통과하는 것이 4.75mm체 통과량에 대하여 15% 이상인 것

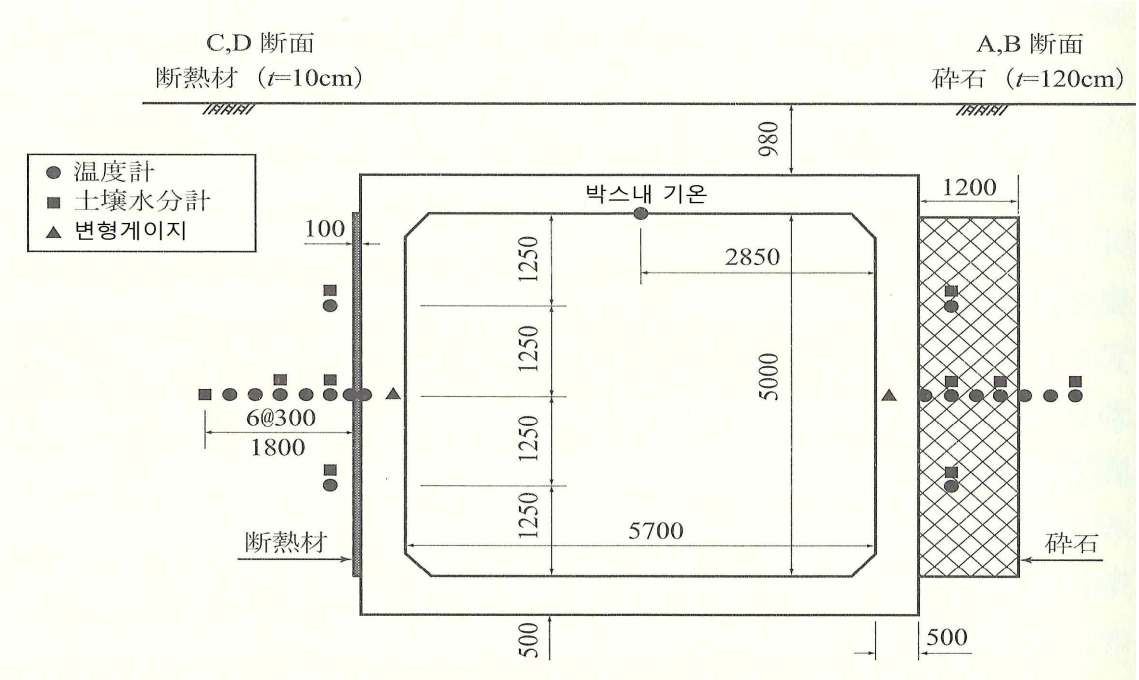
나. 단열 공법

일본 북해도에서는 옹벽이나 box culvert 뒷채움재로서 기존의 방식- 흙과 모래를 섞은 재료를 치환하는 것-을 많이 이용하였었으나, 현장에서 해당 크기의 재료를 구하기 어려운 경우도 있고, 크기가 다른 재료를 혼합하고 다짐작업하는 것도 쉬운 일이 아니라서 최근에는 XPS(Extended Polyethylene Styrofoam)를 이용한 단열공법을 20년 이상 사용하고 있다.

XPS는 밀도 0.03~0.04t/m3, 5% 변형의 압축강도 3.0~3.5kgf/cm2, 인장강도 5kgf/cm2, 열전도율 0.029kcal/m h·℃, 열용량 0.046J/m3·K, 흡수량 0.01g/100cm3인 재료이다.

그림 5.1은 북해도에서 box culvert 측벽에 작용하는 동결토압을 줄이기 위하여 한쪽 측벽에는 뒷채움재로서 쇄석을 120cm 두께로 깔고, 다른 측벽에는 단열재(XPS)를 10cm 두께로 포설한 후 변형게이지, 온도계, 토양 수분계를 설치하고 2002년 12월부터

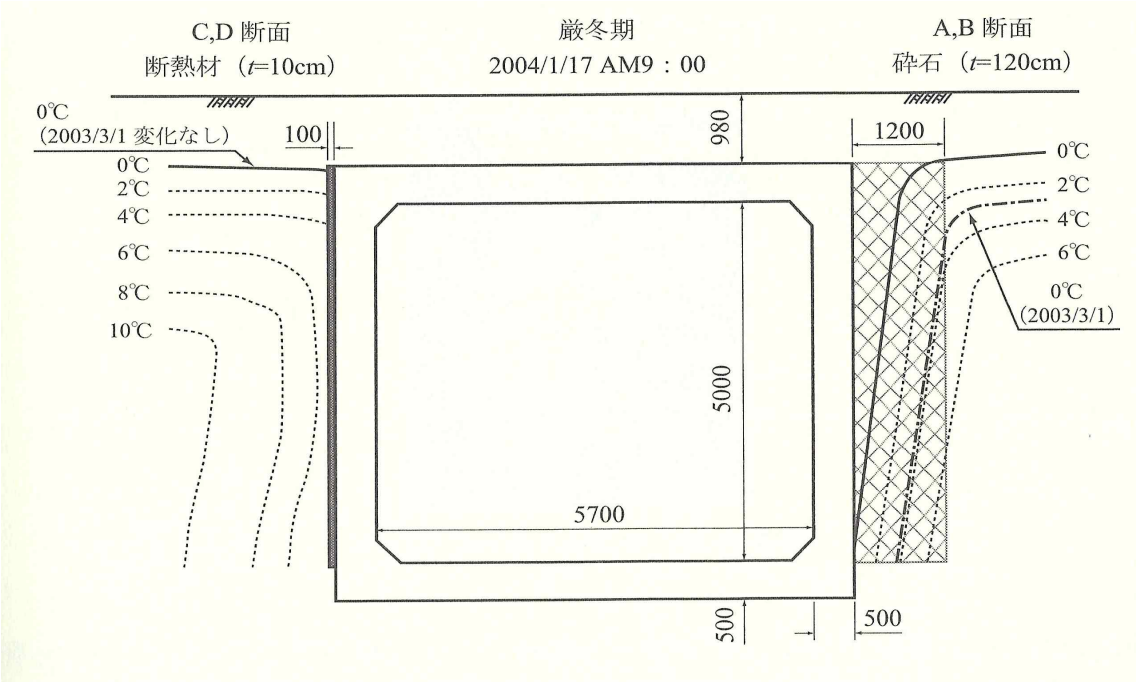
2004년 3월까지 온도, 철근응력을 계측한 계측도면이다.



<그림 5.1> box culvert 측면에 XPS를 설치했을 때와 쇄석을 포설했을 때의 동결토압과 온도변화 비교를 위한 계측장비 설치도(북해도)

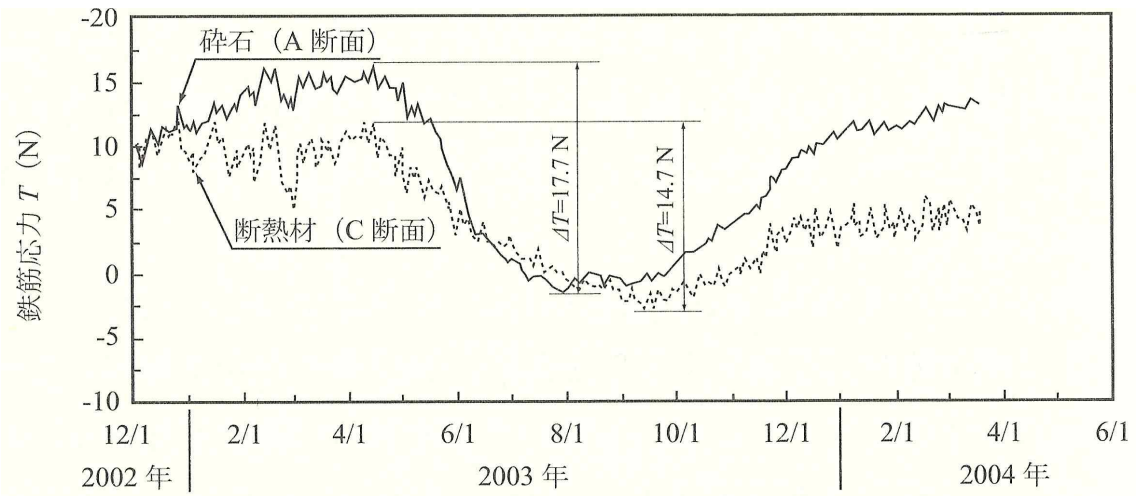
계측방법은 1시간 단위로 box culvert 측면 지중의 온도 분포, 수분상태, 주철근에 작용하는 응력을 측정하는 방식이었다. 측정기간 동안 겨울철 기온이 매우 낮아 2002년도의 동결지수는 943℃·day였고, 2003년 겨울의 동결지수는 661℃·day였다.

측정 결과 그림 5.2에서 보는 바와 같이 XPS를 설치한 경우 쇄석을 포설한 경우에 비해 배면 뒷채움재의 온도분포가 높게 나타났다. 즉, XPS를 설치했을 때는 2003년이나 2004년 동절기 모두 0℃ 이하의 기온이 box culvert 뒷채움재에 침투하지 못하였다. 반면, 쇄석을 포설한 경우는 0℃ 이하의 기온이 2003년 동절기(2002년 12월부터 2003년 3월까지)에는 박스 상부에서는 뒷면 콘크리트로부터 120cm 깊이까지 침투하였고, 하부에서는 50cm 깊이 까지 침투하였다. 또한 2004년 동절기에는 박스 상부에서 50cm 침투하였고 하부에서는 0cm 침투한 것으로 나타났다.



<그림 5.2> box culvert 온도 분포계측도

한편, 박스 측면 콘크리트의 주철근에 변형 게이지를 설치하고 응력을 측정한 결과 그림 5.3에서 보는 바와 같이 XPS를 설치한 경우, 쇄석을 포설한 경우에 비해 철근에 작용하는 응력의 변화가 작게 나타났다.



<그림 5.3> box culvert 측벽 콘크리트의 철근응력 분포도

이와 같이 box culvert 뒷채움재로서 XPS를 설치하는 것이 쇄석을 포설하는 것보다 더 효과적이기 때문에 현재 북해도에서는 겨울철 옹벽이나 box culvert 뒷채움재의 동결토압을 줄이기 위해 XPS를 널리 사용하고 있다.

다. 지반안정처리공법

현지에서 발생한 흙에 시멘트나 석회를 적당량 혼합하면 그 동상성이 현저하게 낮아진다. 이러한 혼합재는 흙입자 상호간의 응고, 흙입자 흡착성의 증대, 투수성 저하 등을 유발하여 동상제어 효과를 발휘한다.

일본의 瓦川善三, 了戒公利 등이 실험한 바에 의하면 시멘트나 소석회를 4% 이상 흙에 혼합하면 흙의 동상억제 효과가 나타난다고 한다.

일반적으로 사질토에는 시멘트를 혼합하는 것이 좋고, 시트질이나 점성토에는 석회가 효과적인 것으로 알려져 있다.

그러나 이 공법은 동결융해 작용이 장기간 반복되면 그 효과가 줄어들 우려가 있다는 단점을 지니고 있다.

라. 차수공법

흙막이 구조물 배면에 비닐막이나 아스팔트층을 설치하여 지하수가 동결면으로 이동하는 것을 차단하는 공법도 있다. 그러나 이 차수공법은 빗물과 같은 상부로부터 흐르는 물을 머물게 하는 단점이 있으며, 이 정체된 물이 오히려 동상을 악화시킬 우려도 있으므로 최근에는 상부로부터의 물은 자유롭게 통과시키고, 지하로부터 올라오는 지하수는 차단하는 Geotextile을 설치하는 공법이 효과적이라는 실험실 연구 결과도 있다.

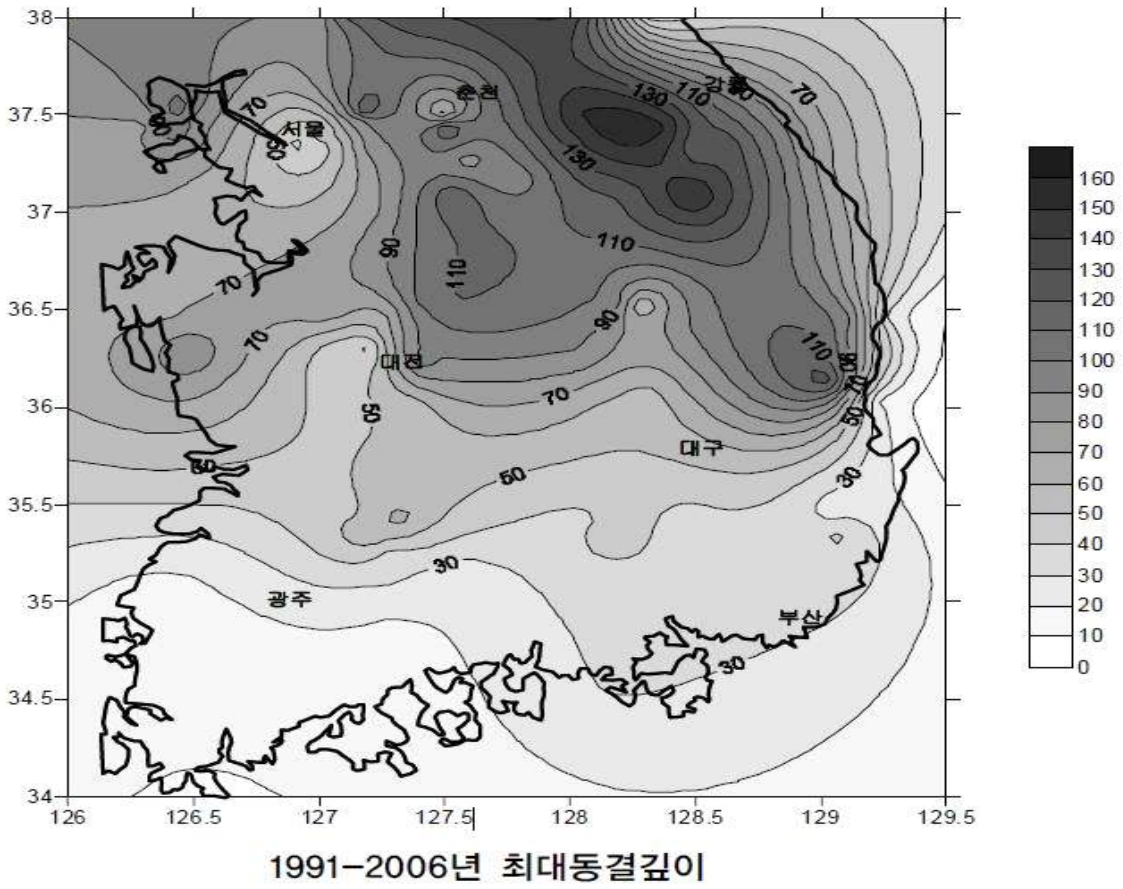
5.2 고산지대 고압 전신주 기초의 동상피해 방지 매설 방안

가. 동결깊이 이하에 기초를 설치하는 방안

고산지대 고압 전신주의 기초를 설치할 때 해당 지역의 동결깊이 이하로 설치하여야 전신주 기초가 동상력에 의한 융기 및 동착력, 그리고 동결융해에 의한 침하 피해를 입는 것을 방지할 수 있다.

따라서 국내 고압 전신주 기초를 설치하고자 할 때는 해당지역의 동결깊이를 정확히 알아야 한다.

그림 5.4에서는 1991년부터 2006년까지 16년 동안 전국 89개 지역에서 필자의 연구팀이 직접 측정한 최대동결깊이 분포도를 보여 주고 있다.



<그림 5.4> 1991년~2006년 사이 KICT가 실측한 국내 최대동결깊이 분포도

그림 5.5에서는 1991년부터 2006년까지 KICT가 실측하여 분석한 국내 지역별 동결지수와 동결깊이와의 관계도를 보여 주고 있다.

본 동결지수- 동결깊이의 관계도롤 참조하여 해당지역 고산지대에 고압 전신주 기초를 건설하고자 할 경우, 기초 설치지점의 표고를 구한 후 먼저

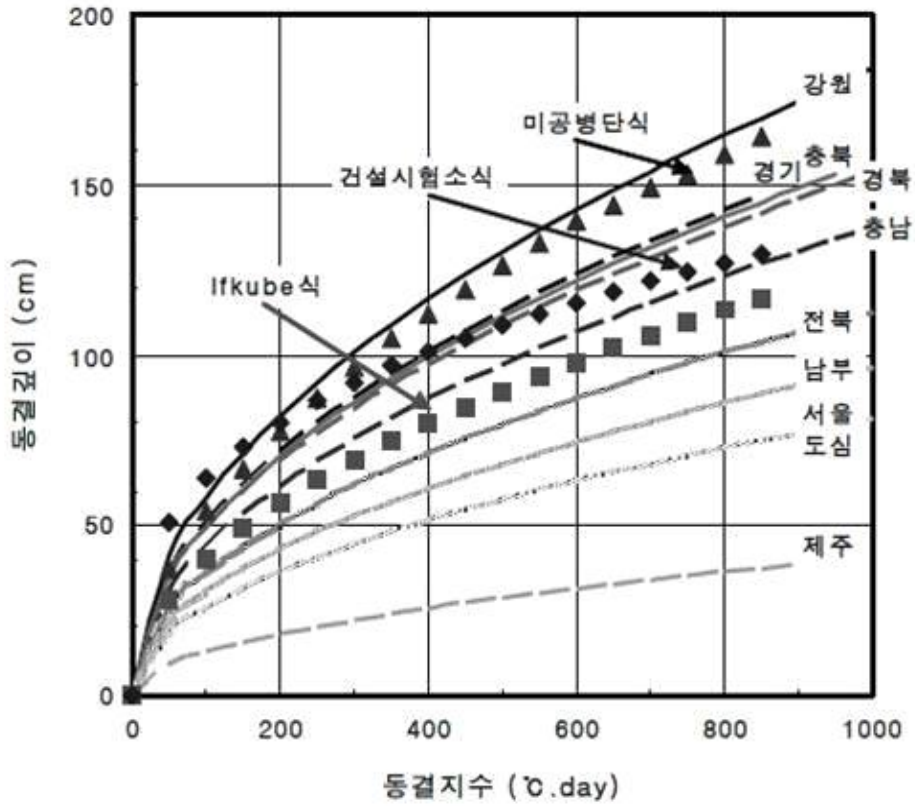
보정동결지수(Fm)를 식 (5.1)과 같이 구한다.

◦ 보정동결지수(Fm)= 최근접 측후소에서 측정한 동결지수 +

$$\frac{0.9 \times \text{동결기간} \times \text{표고차}(m)}{100} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.1)$$

여기서 표고차(m)= 기초 설치지점 표고-최근접 측후소의 표고

그런 다음 이 보정동결지수를 사용하여 그림 5.5에 제시한 곡선으로부터 해당지역의 동결깊이를 구하여 전신주 기초의 매설깊이를 해당지역 동결깊이 보다 깊게 매설하면 동상에 대하여 안정적이라고 판단된다.



<그림 5.5> 국내 지역별 동결지수와 동결깊이 산정 그래프(김영진 등)

5.3 토목 구조물 기초의 동착력 방지 방안

한랭지에서 수도관이나 가스관 등은 예상되는 동결면 보다 하부에 설치한다. 그러나 맨홀이나 건물기초가 지표면까지 노출된 부분에서는 동착동상력(adfreezing force)이 발생할 수 있다.

일본의 후쿠다, 키노시다는 수직으로 매설된 파이프에 작용하는 동착동상력(P)을 구하는 식으로서 동절기 실험을 통해 식 (5.2)와 같은 식을 제안하고 있다.

$$P = P0\ \alpha' \exp(b't)\ (a\sqrt{t})^z \quad \text{.....(5.2)}$$

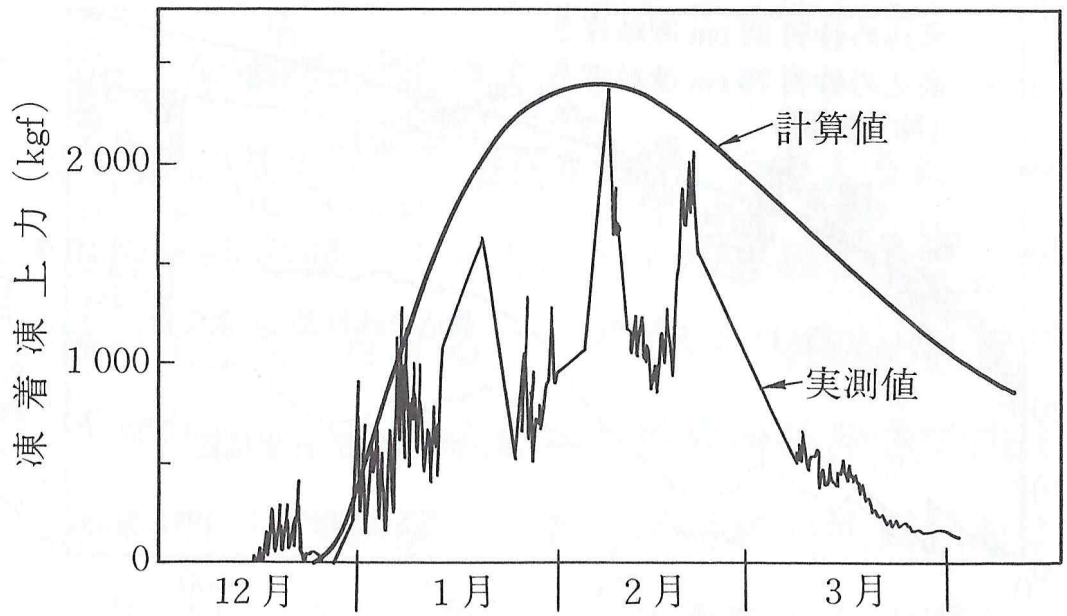
여기서 α, α′, b′ : 실측으로부터 구해지는 정수

P0 : 비례정수

t : 시간

z : 1~3의 정수

예로서 매설된 직경 6cm의 쇠파이프에 가해지는 동착동상력의 실측치로부터 구한 즉, Z=2.5 로서 식(5.2)에 의한 계산치와 실측치를 비교한 것이 그림 5.6이다.



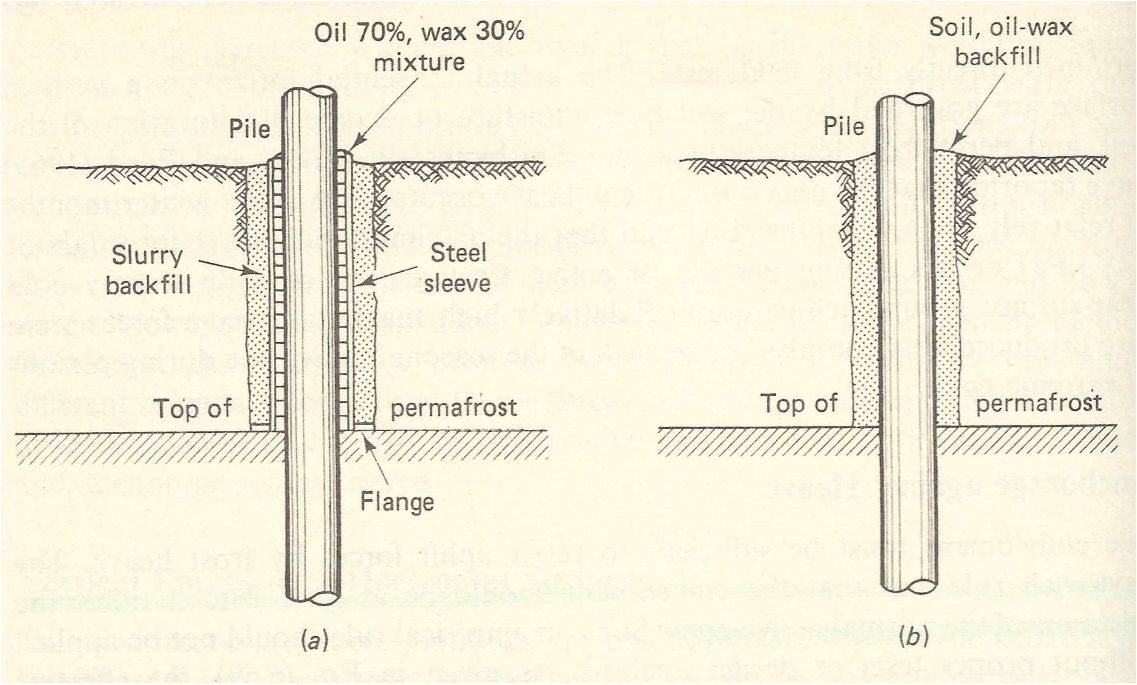
그림

<그림5.6> 동착동상력의 변화과정(지그재그 표시선:실측치, 실선:계산치)

영구동토층의 활동층을 뚫고 내려간 말뚝 등의 기초에도 동착력(adfreezing force)이 작용한다. 영구동토층에서 동착력의 크기를 구하는 식은 Frozen Ground Engineering(2nd Edition, Orlando B. Andersland, Branko Ladanyi 저, 2004, John Wiley & Sons, Inc)의 기초편에 잘 나타나 있다. 여기서는 기초에 작용하는 동착력을 줄이는 방법에 대해서만 간단히 설명한다.

기초에 작용하는 동착력을 줄이는 방법으로서 영구동토지대에서는 기초와 주면지반 사이에 모래와 물을 혼합한 슬러리를 채우거나 강제 sleeve를 설치하거나, 부동수를 채우기도 한다. 또한 흙과 oil wax를 혼합한 물질을 채우기도 한다. 또한 기초구조물이나 말뚝에 철제 수평 bar를 삽입하여 동착동상력을 줄이기도 하고, 기초구조물 주변 흙을 동상이 잘 일어나지 않는 재료 즉, 모래나 자갈 등으로 치환하기도 한다.

필자는 몇 해 전, 남극 세종기기 풍력 발전소의 콘크리트 기초를 타설한 후 동착동상력이 작용하지 않도록 주변 흙을 PE골재로 치환하여 효과를 본 적이 있다.



<그림 5.7> 영구동토 말뚝에서 작용하는 동착력을 줄이는 방법

6. 결론

가. 최근 이상기온에 의한 한파로 일본 뿐 만 아니라 국내에서도 강원도 등 한랭지의 옹벽, 교대 같은 흙막이 구조물은 뒷채움흙이 동결토압을 받아 붕괴를 일으키거나 기능에 손상을 줄 수 있다.

나. 절토 및 성토사면 자체도 동결융해에 의해 해빙기에 붕괴가 일어나며, 설령 붕괴까지는 이르지 않더라도 균열을 발생시켜 강우기에 큰 붕괴 사고로 이어질 수 있다는 점을 해외 사례 분석을 통하여 제시하였다.

다. 사면 보호용 콘크리트 격자틀이나 숏크리트 등도 동결융해에 의한 손상을 일으키기 쉽다는 사실을 해외 사례 분석을 통하여 제시하였다..

라. 화강풍화토를 흙막이 구조물 뒷채움재로 사용할 경우, 지하수가 공급되지 않더라도 가을철에 내린 강우 등으로 함수비가 증가할 경우 동결토압이 크게 증가하여 구조물의 안정성을 해칠 수 있다.

마. 흙막이 구조물 뒷채움흙의 동결토압을 줄이기 위해서는 흙을 쇄석 등의 비동상성 재료로 치환하기 보다는 XPS 등 단열재를 설치하는 것이 더 효과적이라는 사실을 해외 사례 분석을 통하여 제시하였다.

바. PE골재의 경우 단열성이 높고, 배수가 잘 되며, 내부마찰각이 커서 흙막이 구조물 뒷채움재의 동결토압 방지를 위해 사용할 경우 유리한 점이 많다는 사실을 실험을 통해 제시하였다.

사. 고압전신주 기초의 동상에 의한 피해를 방지할 수 있는 전국 지역별 동결깊이 산정식 및 contour를 제시하였다.

참고문헌

(1)社團法人 地盤工學會北海道支部(2010) “斜面の凍上被害と對策のガイドライン
(2)社團法人 地盤工學會北海道支部(2009) “寒冷地地盤工學-凍上被害とその對策-”
(3)김영진(2007) “지반공학의 현기술과 개선방향-부동수가 동토의 성질에 미치는 영향-”, 구미서관
(4)土質工學會(1995) “土の凍結-その理論と實際-”
(5)김영진(2003) “ 폐비닐 골재를 활용한 도로포장 동상방지에 관한 실용화 연구”, 한국건설교통기술평가원
(6)瓦川善三, 奥田和浩, 了戒公利(1988) “セメント及び消石灰を添加した細粒土の凍上特性”, 第23回土質工學研究發表會
(7)福田正己, 木下誠一(1984)“パイプにかかる凍着凍上力の冬期變化について” 低溫科學 物理編 第 45輯

3. 집중토론회 및 공청회

3. 집중토론회 및 공청회



설계시공지침개발 공청회



설계시공지침개발 공청회



설계시공지침개발 공청회



집중토론회 옹벽분야 - 도담 엔지니어링



집중토론회 옹벽분야 - 도담 엔지니어링



집중토론회 옹벽분야 - 도담 엔지니어링



집중토론회 터널.사면분야 - 터널공학회



집중토론회 터널.사면분야 - 터널공학회



집중토론회 터널.사면분야 - 터널공학회



집중토론회 기초분야 - 포스코 센터



집중토론회 기초분야 - 포스코 센터



집중토론회 기초분야 - 포스코 센터

4. 현장조사

-목 차-

4. 현장조사 자료

1. 터널 ..... 부록 - 1

2. 사면 ..... 부록 - 20

3. 옹벽 ..... 부록 - 53

4. 기초 ..... 부록 - 75

4. 현장조사 자료

[부 록] 1. 시설물 현황-터널

시 설 명 : 터 널	
주 소 : 강원도 평창군 창리 720-4번지	GPS : 37° 20‘ 22‘‘ N / 128° 29′ 10′′ E
시 설 물 현 황	
멧둔재터널은 1991년 완공된 터널로써, 현장 조사시 터널 내부 측벽부에서 균열을 관찰하였으며, 균열 틈새로 지하수 누수가 발견되었다. 또한 누수된 지하수가 동결된 것을 확인하였으며, 일부 구간에서는 내부 동결로 인해 타일이 돌출되어 있는 것을 발견할 수 있었고, 측벽에 설치된 전기시설에도 누수된 지하수가 동결되어 있는 것을 확인하였다. 이는 추후 동절기에 기온저하에 따른 지속적인 동결융해로 균열폭 증가와 전기시설 동파 피해, 도로위 결빙과 같은 위험요소로 작용할 가능성이 있는 것으로 판단된다.	
	



세 부 사 진-1



세 부 사 진-2



세 부 사 진-3



세 부 사 진-4

시 설 명 : 터 널	
주 소 : 강원도 인제군 가아리 965-1	GPS : 38° 8‘ 49‘‘ N / 128° 5′ 35′′ E

시 설 물 현 황

광치터널은 국도 31호선에 위치한 터널로써, 터널입구부에서의 지하수 유입으로 인하여 터널 내부 결빙현상이 발생한 상태 였으며, 도로의 보수를 한 흔적으로 보아 과거에도 이러한 현상이 발생한 것으로 판단된다. 또한 유입된 지하수의 결빙으로 인하여 도로유실 및 동결확대로 인한 차량사고의 위험이 있다고 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 터 널	
주 소 : 강원도 양구군 남면 원리 40-2	GPS : 38° 6‘ 20‘‘ N / 128° 2′ 30′′ E

시 설 물 현 황

양구터널은 국도 46호선에 위치한 터널로써, 터널내 균열부에서 지하수의 유입이 많은 것으로 판단된다. 또한 터널내부 낮은 온도로 인하여 천단부에서 바닥부까지 결빙의 흔적을 쉽게 찾아 볼 수 있었다. 터널 곳곳에서의 균열 틈새에서 결빙으로 전기시설에 대한 피해가 생길 것으로 판단되며, 지하수의 유입으로 인해 도로내 결빙현상을 관찰할 수 있었다. 또한 터널 천단부 균열에서 지하수 유입으로 인한 결빙현상을 관찰할 수 있었으며, 이러한 터널내 지속적인 동결융해 현상 발생시 터널 안전에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2



세 부 사 진-3



세 부 사 진-4



세 부 사 진-5



세 부 사 진-6

시 설 명 : 터 널	
주 소 : 강원도 양구군 금악리 1-2	GPS : 38° 12‘ 41‘‘ N / 127° 52′ 39′′ E

시 설 물 현 황

오천터널은 지방도 460호선에 위치한 터널로써, 터널내 균열부에서 지하수의 유입으로 결빙 현상을 관찰하였으며, 지하수 유입을 방지하기 위한 보수공사를 한 흔적을 찾을 수 있었다. 터널내 유입수는 배수구를 통하여 배수되는 것을 확인하였다. 하지만 터널내 균열이 심각한 것으로 판단되며, 지속적인 동결로 인하여 터널 안정성에 문제가 발생할 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2



세 부 사 진-3



세 부 사 진-4

시 설 명 : 터 널	
주 소 : 강원도 화천군 거래리 250-26번지	GPS : 38° 1‘ 54“ N / 127° 49′ 9′′ E

시 설 물 현 황

부다리터널은 국도 5호선에 위치한 터널로서, 배전반 주위로 누수의 흔적을 발견되었으며, 전기시설에 대한 각별한 주의가 필요한 것으로 판단되며, 또한 지속적인 동결융해 발생시 피해가 발생될 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 터 널	
주 소 : 강원도 홍천군 화촌면 풍천리 26번지	GPS : 37° 49‘ 21“ N / 127° 53′ 39′′ E

시 설 물 현 황

가락재터널은 국도 5호선에 위치한 터널로써, 터널 전반적으로 바닥부 균열 틈새에서 소량의 지하수가 유입되고 있었다. 터널의 바닥부에서의 지하수 유입으로 동결시 도로에 피해를 줄 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 터 널	
주 소 : 강원도 원주시 신림면 송계리 19-8번지	GPS : 37° 15‘ 31‘‘ N / 128° 11′ 18′′ E

시 설 물 현 황

솔치터널은 국도 5호선에 위치한 터널로써, 터널 바닥부 균열 틈새에서 지하수가 유입되고 있었으며. 터널의 바닥부에서의 지하수 유입으로 동결시 도로에 피해를 줄 것으로 판단된다.

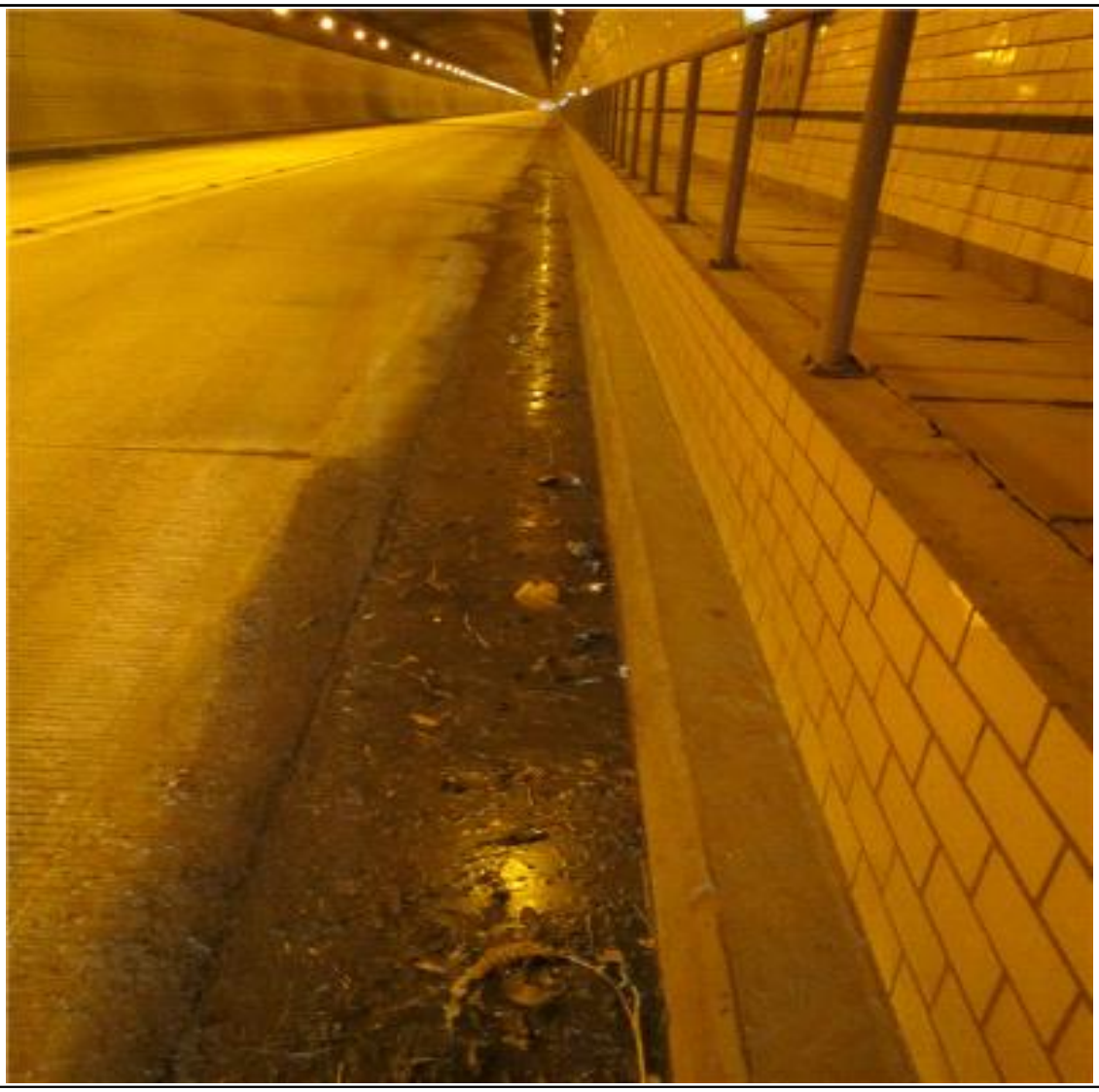




세 부 사 진-1



세 부 사 진-2



세 부 사 진-3

[부 록] 2. 시설물 현황-사면

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 평창군 하진부리 335	GPS : 37° 37‘ 56’‘ N / 128° 33′ 23′′ E

시 설 물 현 황

국도 59호선에 위치한 절토사면으로 사면 상부는 숏크리트 보강을 실시하였고, 일부구간에는 계단식용벽이 설치되어 있는 상황이다. 본 조사시 계단식옹벽 구간 우측부에 절토면에는 표면보호공이 시공되어 있었으나, 기온의 상승과 저하가 반복됨에 따라 풍화가 상당히 진행되어 있는 상태였으며, 전반적으로 지반이 동결되어 부풀어져 있는 상태였으며, 강도 또한 손으로 쉽게 부셔지는 것으로 보아 지반의 강도 또한 매우 연약한 상태로 확인되었다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 평창군 대화면 대화리 1064-9	GPS : 37° 30‘ 16“ N / 128° 25′ 51′′ E

시 설 물 현 황

본 사면의 경우 암반으로 형성된 사면으로 사면에 침투한 용수를 배출하기 위한 수평 배수공이 시공되어 있었으나, 기온저하로 인해 절리틈새와 배수공에서 흘러나오는 용수의 동결로 인해 대상 사면의 배수에 문제가 발생 하였다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 평창군 미탄면 백운리 1-18	GPS : 37° 20‘ 16“ N / 128° 32′ 50′′ E

시 설 물 현 황

본 사면의 경우 암반으로 형성된 사면으로 사면 보강공 및 배수공이 시공되어 있었으나, 기온저하로 인해 사면 상부에서 흘러나오는 지하수 배수를 위해 시공된 배수공이 동결되어 막힌 것을 확인할 수 있었으며, 사면 보강이 시공된 틈새에서 누수되는 지하수의 동결을 확인할 수 있었다. 이는 추후 지속적인 동결융해 발생시 배수 문제 발생과 보강효과 저하로 이어질 수 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2



세 부 사 진-3



세 부 사 진-4

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 평창군 미탄면 백운리 1-12	GPS : 37° 20‘ 24‘‘ N / 128° 33′ 23′′ E

시 설 물 현 황

본 사면의 경우 암반으로 형성된 사면으로 사면 보강공 및 배수공이 시공되어 있었으나, 기온저하로 인해 사면 상부에서 흘러나오는 지하수 배수를 위해 시공된 배수공이 동결되어 막힌 것을 확인할 수 있었다. 또한 상부에서 흘러내린 용수가 보강부 틈새로 침투하여 동결된 것을 확인 할 수 있었다. 이는 추후 지속적인 동결융해 발생시 배수 문제 발생과 보강효과 저하로 이어질 수 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 평창군 미탄면 백운리 650-24	GPS : 37° 20‘ 20‘‘ N / 128° 32′ 43′′ E

시 설 물 현 황

본 사면은 전반적으로 숏크리트로 보강한 사면으로 곳곳에 사면보강공 및 배수공이 설치되어 있는 사면이다. 대상사면의 경우 기온저하로 인해 배수공이 동결되어 막힌 것을 확인할 수 있었으며, 또한 사면보강공 틈새와 숏크리트 균열부에서 누수된 지하수의 동결을 확인할 수 있었다. 이는 추후 지속적인 동결융해 반복시 배수 문제 사면보강공의 보강효과 저하 그리고 숏크리트 균열부의 확대등의 문제점이 발생할 수 있을 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2



세 부 사 진-3



세 부 사 진-4

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 정선군 덕우리 114-2	GPS : 37° 21‘ 29‘‘ N / 128° 42′ 37′′ E

시 설 물 현 황

본 사면은 전반적으로 숏크리트로 보강한 사면으로 곳곳에 배수공이 설치되어 있는 사면이다. 대상사면의 경우 상부 숏크리트 보강면 틈새에서 흘러나온 지하수가 동결되어 하부 암반 구간까지 동결된 상황이다. 또한 하부 암반부에 시공된 배수공은 지하수의 동결로 인해 다수의 배수공이 막힌 것을 확인할 수 있었다. 대상 사면의 경우 배수 문제뿐만 아니라 지속적인 동결융해로 인해 상부 숏크리트 보강면의 틈새 확장으로 보강재로서의 역할을 상실할 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면 (터널 갱구부 사면)	
주 소 : 강원도 정선군 덕우리 665-0	GPS : 37° 20‘ 22‘‘ N / 128° 42′ 46′′ E

시 설 물 현 황

본 사면은 쇄재터널 갱구부 사면에 설치된 옹벽으로 터널 갱구부 우측부의 경우 사면 침투수 배수를 위해 설치된 배수구가 기온저하로 인한 동결 피해를 입은 것을 확인할 수 있었다. 이는 추후 동절기 강우시 원활한 배수를 방해하는 요소로 작용할 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 정선군 광하리 53-1	GPS : 37°21‘ 00“ N / 120°34′ 11′′ E

시 설 물 현 황

본 사면의 경우 정선군 광하리에 위치한 암반사면으로 암반 틈새에서 흘러나온 침투수가 하부까지 동결된 상황이다. 유출된 침투수의 지속적인 동결융해 발생시 균열폭의 증가와 강도 저하로 인해 낙석피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 판단된다. 또한 결빙으로 인하여 낙석방지망이 설계하중보다 초과되어 사면 하부의 낙석방지망이 변형된 것을 확인할 수 있었다. 추후 낙석방지망 파괴가 예상되며 인접도로에까지 피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 삼척시 홍전리 60-5	GPS : 37° 12‘ 55‘‘ N / 129° 2′ 26′′ E

시 설 물 현 황

국도 38호선에 위치한 절토사면으로 계단식옹벽과 앵커로 보강되어 있다. 본 현장의 경우 보강공 틈새로 우수 침투와 기온저하로 인한 침투수의 동결이 발생한 것으로 확인되었으며, 이는 추후 지속적인 동결융해시 보강공의 피해가 발생하여 보강효과 상실의 우려가 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 삼척시 홍전리 92-37	GPS : 37° 11‘ 49‘‘ N / 129° 2′ 13′′ E

시 설 물 현 황

국도 38호선에 위치한 절토사면으로 계단식옹벽과 앵커로 보강되어 있다. 본 현장의 경우 전반적으로 보강공 틈새로 사면의 침투수가 누수되는 것을 확인하였으며, 추후 기온저하로 인한 지속적인 동결융해시 보강공의 피해가 발생하여 보강효과 상실의 우려가 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 인제군 가아리 43-1	GPS : 38° 8‘ 6“ N / 128° 8′ 41′′ E

시 설 물 현 황

국도 31호선에 위치한 절토사면으로 계단식옹벽과 앵커로 보강되어 있다. 본 현장의 경우 옹벽 미세 균열 틈새로 지하수 누수가 확인되었으며, 이는 추후 기온저하로 인한 유출수의 지속적인 동결융해 발생시 옹벽 누수가 발생되는 균열폭 증가등의 피해가 우려된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 인제군 가아리 426-0	GPS : 38° 8‘ 33“ N / 128° 7′ 51′′ E

시 설 물 현 황

국도 31호선에 위치한 사면으로 계단식옹벽 보강되어 있다. 본 현장의 경우 옹벽 미세 균열 틈새로 지하수 누수가 확인되었으며, 이는 추후 기온저하로 인한 유출수의 지속적인 동결융해 발생시 옹벽 누수가 발생되는 균열폭 증가등의 피해가 우려된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 춘천시 고탄리 18-1	GPS : 37° 58‘ 37‘‘ N / 128° 43′ 34′′ E

시 설 물 현 황

국도 5호선에 위치한 사면으로 낙석방지망이 설치되어 있는 암반사면이다. 본 현장의 경우 침투수의 배출을 위한 배수공이 설치되어 있지 않고 낙석방지망만 설치되어있으며, 현장조사 시 상부 자연사면에서부터 침투되어 유출되는 지하수를 효과적으로 처리하지 못함에 따라 사면 절리 곳곳에 유출수 동결로 인한 빙괴를 쉽게 찾아볼 수 있었다. 이는 추후 기온저하로 인한 유출수의 지속적인 동결융해로 암밤의 풍화를 촉진시킴에 따라 소규모 낙석등의 피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 홍천군 삼마치리 155-5	GPS : 37° 38‘ 18‘‘ N / 127° 33′ 28′′ E

시 설 물 현 황

국도 5호선에 위치한 사면으로 낙석방지망이 설치되어 있는 암반사면이다. 본 현장의 경우 침투수의 배출을 위한 측구 배수로가 설치되어 있었으며, 현장조사시 사면 절리에서 유출되는 침투수의 동결로 인한 빙괴를 찾아볼 수 있었다. 또한 사면 하부인 도로 인접부에 별다른 배수로가 존재하지 않음에 따라 동절기 강우시 유출되는 침투수를 충분히 처리하지 못할 것으로 판단되며, 이후 유출되는 침투수가 인접도로 부근에서 동결시 사고 발생을 일으키는 요인으로 작용할 가능성이 있는 것으로 판단된다.



시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 홍천군 삼마치리 155-5	GPS : 37° 38‘ 18‘‘ N / 127° 33′ 28′′ E

시 설 물 현 황

국도 5호선에 위치한 사면으로 낙석방지망이 설치되어 있는 암반사면이다. 본 현장의 경우 침투수의 배출을 위한 측구 배수로가 설치되어 있었으며, 현장조사시 사면 절리에서 유출되는 침투수의 동결로 인한 빙괴를 찾아볼 수 있었다. 또한 사면 하부인 도로 인접부에 별다른 배수로가 존재하지 않음에 따라 동절기 강우시 유출되는 침투수를 충분히 처리하지 못할 것으로 판단되며, 이후 유출되는 침투수가 인접도로 부근에서 동결시 사고 발생을 일으키는 요인으로 작용할 가능성이 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 사 면	
주 소 : 강원도 원주시 금대리 497-1	GPS : 37° 38‘ 16‘‘ N / 128° 0′ 45′′ E

시 설 물 현 황

강원도 원주시에 위치한 절토사면으로 계단식 옹벽이 설치되어 있는 사면이다. 본 사면의 경우 사면에서 침투된 유출수가 배수구에서 동결되어 있는 것을 확인할 수 있었으며, 옹벽 측부에서는 미세균열을 따라 침투수가 누수되는 것이 관찰되었다. 이는 추후 동절기에 유출수의 동결로 인한 배수문제와 유출수가 미세균열에서 지속적인 동결융해로 인한 균열폭이 증가하는 등의 피해가 예상된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

[부 록] 3. 시설물 현황-옹벽

시 설 명 : 옹 벽	
주 소 : 강원도 평창군 진부면 2073-4	GPS : 37° 36‘ 4‘‘ N / 128° 33′ 27′′ E

시 설 물 현 황

본 대상 구조물은 국도 59호선에 위치한 교량 구조물 하부에 설치된 옹벽이다. 대상 구조물의 경우 상부에 균열이 발견되었으며, 균열을 따라 우수등의 침투수가 누수되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 추후 침투수의 지속적인 동결융해가 구조물의 균열폭 증가시키는 등의 요인으로 작용할 가능성이 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 옹 벽	
주 소 : 강원도 태백시 화전동 227-2	GPS : 37° 12‘ 23‘‘ N / 128° 56′ 24′′ E

시 설 물 현 황

본 대상 구조물은 교량 구조물 하부에 설치된 옹벽이다. 대상 구조물의 경우 상부에 균열이 발견되었으며, 균열을 따라 우수등의 침투수가 누수되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 누수된 침투수의 경우 기온저하로 인해 동결된 흔적을 찾아볼 수 있었으며, 대상 구조물 하부에는 배수로가 설치되어 있지 않은 것으로 확인되었다. 대상 구조물의 경우 추후 침투수의 동결로 인한 균열폭 증가와 구조물 하부에 배수로가 존재하지 않음에 따라 동절기 강우시 다량의 침투수가 누수되어 동결할 시에 인접한 도로에 영향을 미침에 따라 피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2



세 부 사 진-3

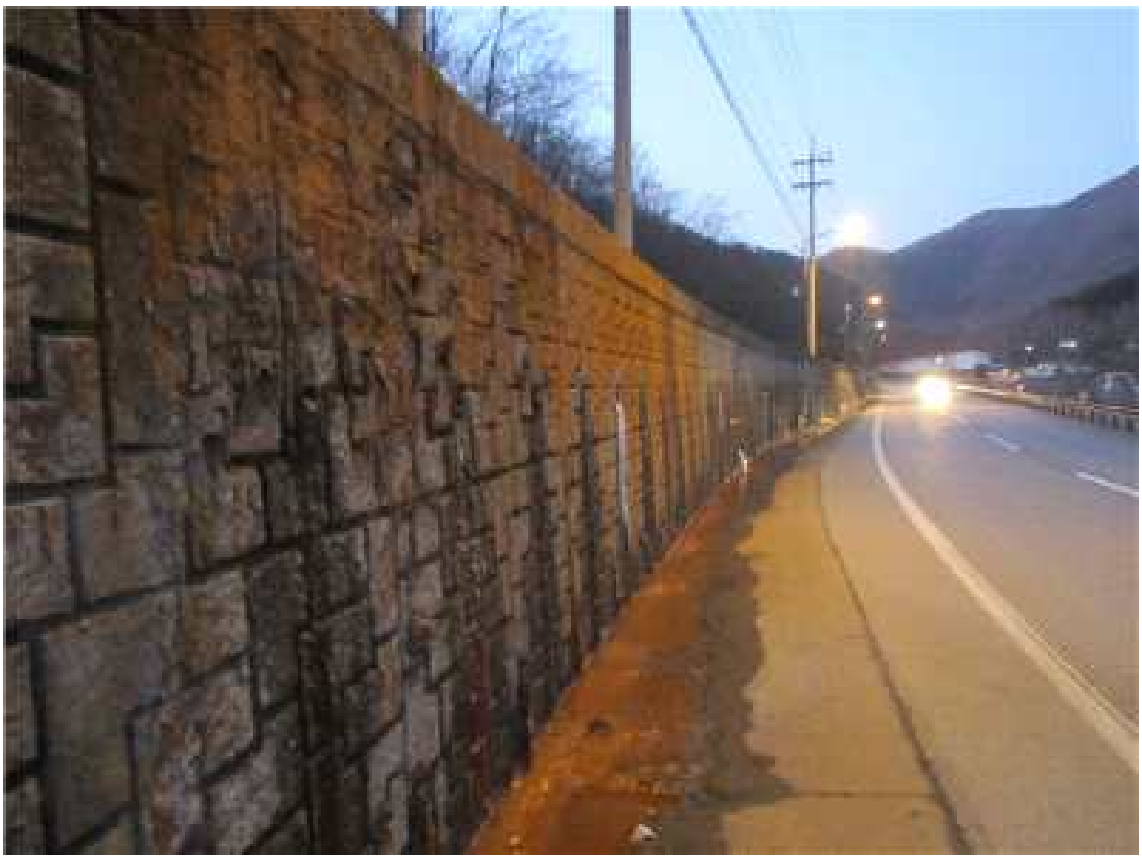


세 부 사 진-4

시 설 명 : 옹 벽	
주 소 : 강원도 태백시 화전동 111-38	GPS : 37°11‘ 53‘‘ N / 128°57′ 45′′ E

시 설 물 현 황

본 대상 구조물은 태백시 화전동에 설치된 옹벽이다. 대상 구조물의 경우 배수구마다 상당한 양의 침투수가 흘러나오고 있었으며 일부 배수구의 경우 기온저하로 인해 동결이 진행되어 막혀있는 것을 확인할 수 있었다. 대상 구조물의 경우 추후 동절기에 배수문제로 인한 피해가 판단되며 인접한 도로에까지 결빙으로 인한 피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2



세 부 사 진-3



세 부 사 진-4

시 설 명 : 옹 벽	
주 소 : 강원도 횡성군 오원리 525-1	GPS : 37° 26‘ 16‘‘ N / 128° 06′ 00′′ E

시 설 물 현 황

본 대상 구조물은 횡성군 오원리에 위치한 옹벽이다. 누수된 침투수의 경우 기온저하로 인해 동결된 흔적을 확인할 수 있었으며 배수구는 설치되어 있지 않은 것으로 확인되었다. 대상 구조물의 경우 추후 지속적인 동결융해 반복시 구조물의 균열폭 증가 및 강도저하로 인한 피해가 우려된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 옹 벽	
주 소 : 강원도 횡성군 오원리 313-0	GPS : 37° 25‘ 42‘‘ N / 128° 06′ 27′′ E

시 설 물 현 황

본 대상 구조물은 횡성군 오원리에 위치한 옹벽이다. 구조물 하부의 틈새로 지하수의 유출로 인한 결빙을 확인할 수 있었다. 대상 구조물의 경우 추후 지속적인 동결융해 반복시 균열부의 확대로 인한 피해가 우려된다. 구조물 하부에 배수로가 존재하지 않는 것으로 확인됨에 따라 동절기 강우시 침투수의 유출로 인접한 도로의 결빙으로 인한 피해가 발생할 가능성이 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 옹 벽	
주 소 : 강원도 정선군 나전리 8-1	GPS : 37°25‘ 37‘‘ N / 128°39′ 27′′ E

시 설 물 현 황

본 대상 구조물은 정선군 나전리에 위치한 옹벽이다. 대상 구조물은 동결융해로 인한 부등침하로 인해 5~10° 정도 기울어져 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 구조물 상당부분에서 균열이 진행되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 동결융해 반복시 추가적인 부등침하로 인해 구조물의 전도로 인한 붕괴위험이 있는 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 옹 벽	
주 소 : 강원도 정선군 나전리 100-8	GPS : 37°25‘ 37‘‘ N / 128°39′ 27′′ E

시 설 물 현 황

본 대상 구조물은 정선군 나전리에 위치한 옹벽이다. 대상 구조물은 동결융해로 인해 곳곳에 균열이 상당히 진행된 것을 확인할 수 있었다. 동절기 강우로 인한 다량의 우수 유입시 동결융해로 인해 균열부의 확대 및 강도저하로 인한 피해가 예상되며 인접한 도로에까지 영향을 미칠 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 옹 벽	
주 소 : 강원도 홍천군 자운리 50-25	GPS : 37° 44‘ 23‘‘ N / 128° 21′ 49′′ E

시 설 물 현 황

본 대상 구조물은 홍천군 자운리에 위치한 옹벽이다. 대상 구조물의 하부지반은 동결융해로 인한 강도저하로 토사의 상당부분이 유실되었음을 확인할 수 있었다. 추후 동결융해 반복시 추가적인 토사 유실이 예상되며 구조물의 안정에 영향을 끼칠 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 옹 벽	
주 소 : 강원도 홍천군 능평리 304-14	GPS : 37°45‘ 12‘‘ N / 127°50′ 46′′ E

시 설 물 현 황

본 대상 구조물은 홍천군 능평리에 위치한 옹벽이다. 대상 구조물의 경우 곳곳에서 침투수가 흘러나와 기온저하로 인한 동결이 진행되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 배수구가 없는 것으로 확인되어 추후 추가적인 침투수의 유출이 예상되며 동결융해로 인한 피해가 우려된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 옹 벽	
주 소 : 강원도 홍천군 구성포리 1362-0	GPS : 37°48‘ 55’‘ N / 127°54′ 45′′ E

시 설 물 현 황

본 대상 구조물은 국도 56호선에 위치한 옹벽이다. 대상 구조물의 경우 균열부에서 누수된 침투수나 기온저하로 인한 침투수의 동결을 확인할 수 있었다. 이는 추후 지속적인 동결융해 반복시 균열부의 확대되는 등의 피해가 예상된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

[부 록] 4. 시설물 현황-기초

시 설 명 : 기 초	
주 소 : 강원도 홍천군 생곡리 41-82	GPS : 37° 44‘ 25’‘ N / 128° 17′ 57′′ E

시 설 물 현 황

대상 구조물은 산악 도로에 설치된 추락방지 펜스로써 동결융해로 인해 펜스 배면 하부 기초부의 지반이 연약해짐에 따라 붕괴가 발생되었고, 그에 따른 구조물 도괴가 발생한 것으로 판단된다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 기 초	
주 소 : 강원도 춘천시 학곡리 50	GPS : 37° 50‘ 8‘‘ N / 127° 46′ 8′′ E

시 설 물 현 황

대상 구조물의 경우 동결융해에 따른 기초부 지반의 부등침하로 인해 높낮이 차이가 발생하여 대상 구조물의 균열이 발생한 것으로 판단된다. 추후 지속적인 침하 발생으로 인해 구조물의 붕괴가 예측되어지는 상황이다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

시 설 명 : 기 초	
주 소 : 강원도 춘천시 학곡리 51-6	GPS : 37° 50‘ 8‘‘ N / 127° 46′ 8′′ E

시 설 물 현 황

대상 구조물의 경우 동결융해에 따른 기초부 지반의 부등침하로 인해 높낮이 차이가 발생하여 대상 구조물의 균열이 발생한 것으로 판단된다. 추후 지속적인 침하 발생으로 인해 구조물의 붕괴가 예측되어지는 상황이다.





세 부 사 진-1



세 부 사 진-2

5. 자문위원 의견정리

-목 차-

5. 자문위원 의견정리

1. 터널 ..... 부록 - 1

2. 사면 ..... 부록 - 3

3. 옹벽 ..... 부록 - 4

4. 기초 ..... 부록 - 5

5. 자문위원 의견정리

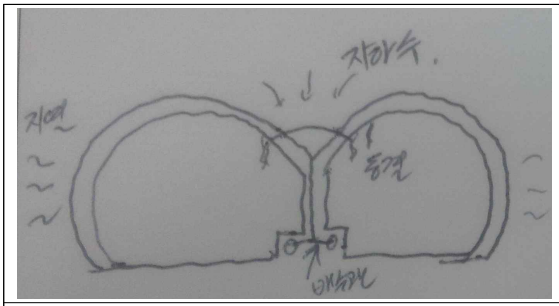
자문위원 분야별 - 의견 정리

터널분야
터널위원-1 - 본 연구는 동결피해지역의 지반구조물 기준에 대한 설계 및 시공지침 제안으로서 '동결'과 '동상'의 의미는 터널, 사면, 옹벽, 기초구조물에 따라 큰 차이가 있으므로 용어 정립이 우선시 되어야 한다고 판단됨. - 터널과 인공사면의 경우, 지하수 상승에 따른 모세관에 의한 동상으로 구조물 피해가 발생하기 보다는 동절기 전에 강우에 의해 침투된 수분이 동결되면서 발생하는 동해(동결에 의한 피해)가 지배적일 것으로 판단되므로 상기에 기술된 '동결'의 의미를 부각시켜 최종 결론을 도출함이 타당할 것으로 사료됨. - 각각 구조물 조건에 따라 흙의 종류(토질), 수분(지하수), 온도조건(영하지속시간)으로 구분하여 동상 피해 및 방지 기술을 구분 평가하면 더욱 기술적인 평가·관리기준이 수립될 것으로 판단됨.
터널위원-2 - 설계. 시공 중, 시공 후를 구분하여 "동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가. 관리기준"을 제안할 필요가 있음. 또한, 기존 구조물의 동결피해 저감을 위한 관리방안 마련도 향후 필요할 것으로 사료됨 - 물의 동결, 흙의 동결, 지반의 동상을 구분하여 정립할 필요가 있음. (용어의 재정립) - "도로동상 방지층 연구단", 한국건설기술연구원의 "국내포장국도의 동결깊이 조사와 유지관리" 보고서를 참조하여, 본 연구에 반영할 필요가 있음.(특히 동결지수, 동결깊이 내용) - 겨울철 공사 시, 시공지침은 언급이 없음. 향후 연구 과제이면 추진방안 제안 필요함.
터널위원-3 - 동결. 동상. 동착상향력을 구하기 위한 시험이 전제되어야 함. 국내 시험규정이 전무한 상황에서 기준제시는 곤란함. - (동절기사면 내) 앵커. 네일 등의 보강체가 사면안정에 미치는 영향 고려 필요. 이 역시 동결. 융해 영향 고려 필요
터널위원-4 - 숏크리트와 콘크리트 라이닝 사이에 -> 방수막과 콘크리트 라이닝 사이에 - 터널 입,출구부 콘크리트 라이닝의 동결융해에 의한 균열방지를 위한 대책검토-> 콘크리트 라이닝 내부에 균열 방지 철근 설치 등

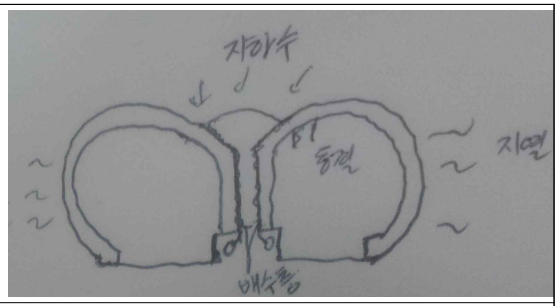
- 터널형식 및 형태(재래식, NATM, Two-Arch)에 따른 적합한 대책 검토

터널위원-5

- two-arch 터널 중앙벽체 누수 사례 많음



<기존 two-arch>



<이중라이닝 two-arch>

1) 중앙벽체의 경우 지열에 의한 동결저항 없음.

2) 교량 위의 눈이 잘 녹지 않는 것과 유사한 현상

3) 도로공사 기준은 수정동결지수 700°c day 이하이더라도 동결 피해가 발생하므로 연구를 통한 기준 설정 또는 보강 대책 의무화 등이 필요함.

- 기존 터널과 신설 터널로 구분하여 동결 피해 방지 대책에 대한 연구가 필요함.
- 터널 갱구부의 경우 갱구부의 방향 (태양과의 위치 관계)에 따른 일영분석 등을 통하여 음지부는 특히 동결에 대한 대책 검토가 필요함.

1) 관련 문구를 기준 등에 수록 필요.

사면분야
사면위원-1 - 국내 지반구조물에 대한 동상, 동결에 대한 학술적인 연구가 미흡하므로 장기적으로 기준이나 지침작성을 위해 연구수행이 필요함. - 본 연구과제에서는 동상 및 동결에 대한 설계기준을 제안하고 향후 지속적인 연구가 수반되어 세부적인 지침 및 기준 작성이 필요함. - 동결 지반의 구조물에 대한 관리 기술의 제안도 필요할 것으로 사료됨.
사면위원-2 - 각 지반 구조물 별 동상에 대한 되해 사례 및 메카니즘 등에 대한 국내외 자료 조사가 중요할 것으로 판단됨 - 동결심도, 동결지수 등의 적용이 절토사면에 가능할지도 연구가 필요할 것으로 판단됨. - 사면에서는 동상으로 인한 피해유형, 동결에 피해 유형 등에 대한 사례가 많음. 도로의 동결지수 동결심도와는 차이를 보일 것으로 사료되며 적용에 대한 연구가 필요함. - 동상압에 대한 연구 및 평가도 필요함 (추가 연구 과제 필요) - 기존 설계 지침에 개정(안)을 제안하는 것 보다 동결 피해 지반구조물 만을 제안하는 것이 타당할 것으로 판단됨.
사면위원-3 - 평가기준, 관리기준, 설계지침, 시공지침을 만들기 위해서는 많은 연구가 필요할 것으로 판단됨. - 억지공(예: 앵커, 네일링)이 시공된 사면에서 동상에 대한 기준을 정하기 위해서는 동상 팽창암의 작용에 따른 억지력의 적정한 안전율의 개념이 필요함. - 동상의 종류 중 사면의 얕은 파괴형태의 피해는 식생녹화공을 손상 시키므로 식생공의 종류에 따른 내동상성층의 평가를 하여 시공 지침으로 만드는 것이 필요함.
사면위원-4 - 동결심도, 지속기간 등에 따른 체적 팽창압을 측정하여 설계지침 작성시 기본 자료로 활용함이 필요함. - 동결심도 별 기본 차이 등을 계측을 통하여 자료 확보함이 필요함. - 동결 지속 시간, 토질조건, 함수 특성 등에 따른 동결심도 특성을 파악하여 지침작성시 참고 할 수 있도록 함이 필요하다.

옹벽분야

옹벽위원-1

- 계단식 옹벽, 터널 출입부에서 겨울철 배수구 동결로 인해 안전사고 발생 우려 되므로 배수 시스템 개선 필요.
- 양지와 음지로 구분된 사면과 옹벽 등에 앵커 등의 보강공법 설치 시 흙의 종류에 따른 동상압력 뿐만 아니라 기초 구조물의 동상량에 대한 정량화로 지반구조물의 거동 특성은 본 정책연구의 특성과 남은 연구기간을 고려하여 향후 본 연구와 연계된 과제 도출로 정량적인 설계 시공 지침 개선(안)이 만들어져야 함이 타당함

옹벽위원-2

- 옹벽 보수, 보강 이력조사 결과에서 A지역과 B지역의 뚜렷한 차이가 없다. 즉 A지역의 보수보강 이력이 많아야 동상에 의한 옹벽의 피해가 심각하다는 결론이 도출될수 있다. 실제로 옹벽이 동상의 피해를 받고 있는지 분석이 필요하다.
- 동상문제로 인하여 옹벽에 보수, 보강이 발생하고 있다면 어떤 형태의 손상이 발생하고 있는지(메카니즘 규명) 조사가 필요하다. 원인 규명이 되어야 대책방안이 제시될 수 있다. 이 부분에 대한 조사 및 분석이 보안되어야 한다.
  1) 배면토사의 동결융해에 따른 압력증가.
  2) 배수구의 막힘과 그에 따른 지하수 정체후 여는 과정에서 압력증가
  3) 시공이음부에 침투한 지하수가 어는과정에서 발생한 압력 등

옹벽위원-3

- 동상관련 설계기준 변경에 따른 선행 연구 과제 등이 필요함
  옹벽 배면의 동결심도 측정, 옹벽 배면 온도계측을 통한 단열 효과 검증
- 강원지역 옹벽의 피해 사례 조사 시 동결에 의한 피해 사실인지 확인

옹벽위원-4

- 옹벽에 발생가능한 동상피해를 사례별로 정리할 필요가 있음(옹벽 보수보강 이력 자료 활용)
- 도로설계 편람 개정안에 기술할 경우 현재 설계법이나 연구결과에 비추어 보면 구체적인 방법을 제시하는 것은 불합리함
- 향후 옹벽배변의 온도측정을 장시간 실시하여 구조물의 미치는 영향 등에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 사료됨

옹벽위원-5

- 우선적으로 지반으로부터 과다 용수발생구간은 철저한 배수 처리시설(동상방지층, 드레인보드 등) 설치하도록 하는 것이 적정함
  -> 보강토 옹벽 보강토체 배면에도 설치 용수부에는 배수 층 설치 등
- 옹벽 (콘크리트옹벽, 보강토옹벽 등)의 동결 mechanism 에 대한 추가적인 연구 수행 후 대책방안 설계기준 수입 등이 필요함

기초분야

기초위원-1

- 동결 관련 기술분야 설계시공지침은 지반 기술자들의 관심과 교육적인 목적을 위해서도 필요하다고 생각됨.
- 동결과 동상 (frost heaving)을 구분해서 기초분야 설계시공 지침에 반영했으면 함.
- 동상 피해와 관련하여 동결심도 이내에 설치되는 저심도 기초 (낙석방지책 기초, 안내표지판 기초 등)에서 피해가 크므로 이에 대한 기초 형식 (동상에 영향이 적은 기초 형식)에 대한 표준안 제시 필요.

기초위원-2

- 우리나라의 동결심도는 1m 내외로서 일반적인 토목구조물의 기초두께를 고려해 볼 때 동결피해가 자주 발생할 가능성은 낮음. 그러나 최근의 극한지 해외사업이나 통일 후 북한지역에서의 건설을 고려할 때 기초의 동결문제에 대한 설계기준을 포함하는 것이 바람직함.
- 대표적인 극한지인 캐나다의 경우, 구조물의 동결피해 방지를 위한 여러 가지 설계기준이 제정되어 있음 (첨부 자료 참조)
  1) 각 지역별 동결심도 기준
  2) 동결심도를 지키기 어려운 구조물의 경우 적용 가능한 단열 공법 및 설치 기준
  3) 난방을 하는 빌딩 및 하지 않는 빌딩에 대한 지중 wall 및 기초에 대한 단열 기준
  4) 지중 관로 구조물의 동결 피해 방지 기술
- 우리나라의 경우 대형 토목 구조물의 동결 피해 사례는 거의 전무한 수준이며, 아파트 단지 등의 소규모 조경구조물, 보도, 외벽 마감제 등의 동결에 의한 변형, 융기 사례가 자주 보고 되고 있으므로 이에 대한 설계기준 정립이 필요한 것으로 판단됨.

기초위원-3

- 동결 피해 저감을 위한 지반 구조물 평가 관리 지침, 동기 토공 설계 부문의 상세 사항의 추가를 요함.
- 북해도 개발, 한지 개발 기술 (국토 교통성, 북해도 개발 국, 독립 행정법인 토목 연구소, 한지토목 연구소) 등의 매뉴얼 등의 참조 요함.
- 동기 긴급 복구공사 시 성토 재에 대한 기준 중 함수율에 따른 전단강도와 함설(雪)량에 따른 전단강도 허용에 대한 한계 포함 검토요함.
  1) 지역 별 지중 온도 모니터링에 의한 년 중 최저 온도 기준 등온선, 구분도 등의 영향 검토 및 지역 구분을 위한 검토 요함.
  2) 군별 동결심도 구분 검토 요함
  - 농수로, 지중관로 동계 보수지침 포함 검토 요함.
  - 빙설, 방빙 등 동절기 대책에 대해 국가 후속 연구 요함.

기초위원-4

- 동결심도에 대한 사례는 미국사례(해외)조사 필요.

- 구조물 기초 설계 기준에 제시된 동결가능성 항목에 조사 방법 및 평가 항목에 대한 연구 필요.
- 말뚝 기초에 발생되는 동결피해는 연직력 보다 수평력에 대한 연구 필요.
- 횡력이 주가 되며 기초 깊이가 비교적 얕은 동결이 쉬운 토층에 설치된 철탑기초에 대한 연구가 필요.
- 극한지 자원 개발과 관련하여 본 과제에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단 됨.

기초위원-5

- 모듈러 하우스 경량 창고 등 지하층이나 피트 층이 없이 지표면에 바로 설치하는 경량 건축 구조물의 기초부의 토질에 대한 동결 가능성 진단, 대책(치환 등)에 대한 매뉴얼화가 필요하다.
- 강관의 경우 저온에서 항타 시 취성파괴가 날 수 있으며 이러한 피해 사례 정도를 소개하면 좋겠다.

동결과제 보완증빙서




<그림 1-3> 터널배수관 현황 및 배수관 결빙상태 확인


a) 비상구 유도등 누수


b) 시공이음부 결빙


c) 시공이음부 결빙


d) 신축이음부 결빙

<그림 1-4> 대관령 1터널 주요구간별 동결피해 현황

○○터널은 2아치 도로터널로 겨울철 동결피해로 인해 수차례 보수 보강을 실시하였다. 2아치 터널은 중앙 기둥부 배수파이프의 결빙에 따라 누수가 발생되었으며 배수관 및 거더부에 동판 또는 전열선을 이용한 융빙시설까지 도입하였으나 지속적으로 배수관 막힘 및 하자가 발생한 사례이다(그림 1-5 참조).



a) 거더부 누수로 인한 고드름 발생 현황



b) 기둥부 판넬 내부 결빙

<그림 1-5> ○○터널 동결피해 현황

한랭지 산악터널의 콘크리트라이닝 배면에서 발생하는 동결 및 융해는 콘크리트라이닝 구조물에 악영향을 줄 수 있으며 균열이나 누수 및 변형 등의 원인이 될 수 있다(그림 1-6 참조).



<그림 1-6> 동결현상에 의해 콘크리트라이닝에 발생한 균열

터널 동결로 인해 터널 콘크리트라이닝에 발생하는 고드름, 측빙, 콘크리트라이닝의 열화, 동결토압에 의한 콘크리트라이닝의 압출 등이 있으며 이러한 피해는 열차 또는 차량 운행에 문제를 발생시킬 소지가 있다. 그림 1-7, 그림 1-8은 측빙 및 콘크리트라이닝의 압출의 예이다.



<그림 1-7> 터널내의 측빙



<그림 1-8> 동결압에 의한 터널측벽 압출

1.3 동결피해지역 터널 설계시 피해저감 방안

1) 터널 동결 피해에 영향을 주는 인자는 일반적인 동결의 3가지 조건인 터널내의 온도분포 상황, 사용하는 재료특성, 터널내의 물의 공급이다.
2) 주로 터널에서 발생하는 동결은 온도와 관련이 있는 동결지수, 동결기간, 계획고, 터널방향 등이 가장 큰 영향을 미친다.
3) 터널 동결 피해 조사결과에 따르면 수정동결지수가 700℃.일이상이고 터널 방향이 북쪽 또는 서쪽으로 일조량이 적으며 터널 입구부 약 200m 구간에서 주로 동결피해가 발생한 것으로 조사되었다. 따라서 위의 조건에 해당되는 터널에서는 터널 동결피해 방지 대책을 적극 검토하여 수립하여야 한다.
4) 동결피해 저감 대책으로 누수방지공법, 동결방지공법, 고드름 제거 등이 있으며 터널의 환경조건에 따라 효율성, 내구성 및 경제성을 고려하여 다음과 같은 목적에 따라 적절한 대책공법을 선정해야 한다.
 - 동결융해에 의한 라이닝 재료의 열화방지
 - 배면지반의 동상압에 의한 터널의 변상방지
 - 고드름, 측빙, 빙파의 발생에 의한 차량운행에 유해한 영향 방지
 - 터널내 작업의 안정성 확보
 - 고드름 제거 등 보수작업의 용이성 확보
5) 신설터널의 경우 숏크리트와 콘크리트라이닝 사이에 단열재 설치가 일반적이며 기존터널의 경우 분사식 단열재 설치, 부착식 단열재 설치, 히팅케이블 설치 등이 있으며 시공성과 경제성, 내구성 등을 종합적으로 분석하여 공법을 선정해야 한다.

【해 설】

영동고속도로 터널에 대해 동결피해 사례조사(설계처-3293('06. 12. 14))에서 터널별 동결지수, 동결기간, 계획고, 터널방향, 발생현황에 대한 상관관계를 분석하였다. 수정동결지수와 터널방향과의 분석결과에 의하면 결빙피해를 입은 터널은 수정동결지수 700℃・일 이상에서 발생하였다

터널 방향에 따른 동결가능성 파악결과 터널방향을 고려할 때 일조량이 적은 구간은 동결피해가 발생한 사례가 있으므로 이를 고려하여 설계에 반영할 필요가 있다.

도로교통기술원에서 영동고속도로 운용 중 터널에 대한 온도를 측정한 자료('05. 2 측정)에 의하면 외기에 의한 동결 가능 구간은 터널 입구부에서 50 ~ 250m구간인 약 200m 구간에서 발생한 것으로 조사되었다.

배수시설 결빙피해 조사결과 수정동결지수가 700℃・일이상이고 터널 방향이 N50°E ~ N45°W인 터널에서 주로 발생하였으며 피해가 발생한 구간은 터널 입구부 약 200m 구간에서 동결된 것으로 조사되었다.

터널내 동결방지 대책은 크게 누수방지공법, 동결방지 공법, 직접 고드름 제거하는 방법으로 구분할 수 있다(그림 1-9 참조).

누수방지공법으로는 방수용 쉬트를 이용하거나 고무아스팔트계 등을 이용하여 부착하는 전면적인 누수방지대책공법이 있으며 부분적인 누수방지대책으로 지수판을 설치

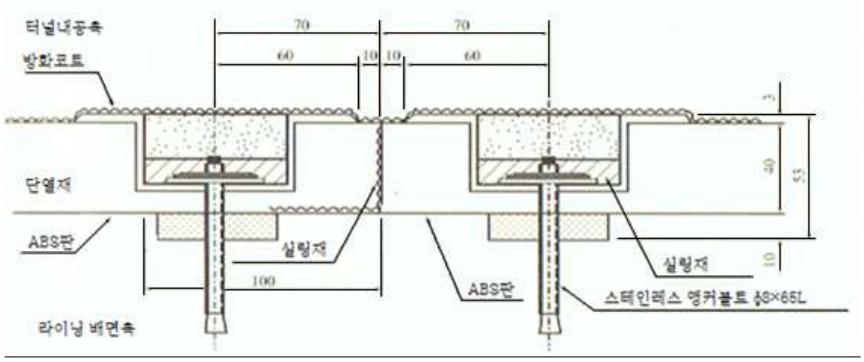
하거나 도수용 홈을 파거나 배수하는 방법이 있다.

동결방지 공법에는 전열선 또는 온풍 히터 등을 이용한 가열공법과 단열재를 이용한 보온공법이 있다.

터널내 노상을 포함하는 인버트부는 일반도로구간과 마찬가지로 노면의 동상대책이 필요하다. 이 부분의 동상대책에 관해서는 터널내의 온도분포상황, 사용하는 노상재료, 노상부에 침투하는 물의 공급, 즉 동상의 3요소에 관하여 충분히 검토하여 동상 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 비동상성 재료를 사용하는 등 동상대책공법을 적용할 필요가 있다.

기존터널 동결방지대책공법 중 누수 방지대책(그림 1-12)은 주로 기존터널에 이용되며 콘크리트라이닝 배면의 동상 혹은 터널내 고드름 발생방지에 효과적인 공법이다. 이 공법은 복공 표면으로부터 도수층, 단열층, 방화층의 3층 구조로 이루어지는 동결방지대책이나 주로 누수방지를 목적으로 하고 있기 때문에 누수방지공법이라고도 한다.

또한 야간 선로가 폐쇄된 한정된 시간 내에 공사를 가능하게 하기 때문에 기존 콘크리트라이닝을 신설하지 않고 방수판(ARS수지)과 단열재를 공장에서 접착한 것을 콘크리트라이닝 표면에 앵커 볼트로 고정하고 그 후 콘크리트라이닝 표면 전체에 방화코트를 뿜어서 칠하는 구조이다. 이러한 구조 때문에 터널 콘크리트라이닝 배면의 지반을 빙점 이상으로 보온함과 동시에 누수를 방지하게 한다.



2.3 동결피해지역 사면 설계시 피해저감 방안

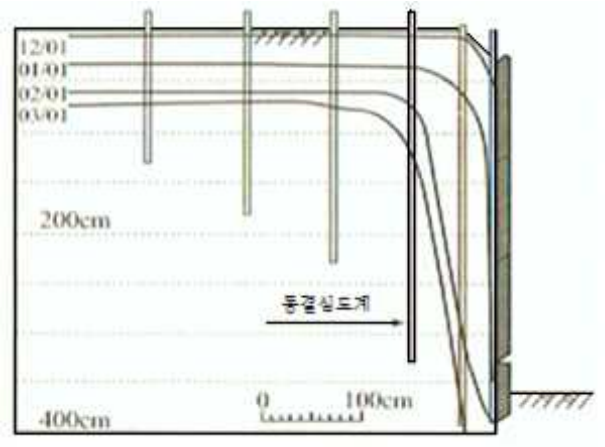
1) 사면의 파괴 및 붕괴는 강우에 의한 침투수, 비탈면에서의 용수, 지표수 배수시설의 불량에 기인한 누수 등에 의해 발생하는 경우가 많다. 사면의 장기적인 안정을 도모하기 위해서는 하부, 내부 및 표면에 지하수 배수시설과 지표수 배수시설을 설치하여 침투수 및 용수를 적절히 배수시킬 수 있도록 설계하여야 한다.

2) 동일한 토질 조건일지라도 지하수 공급이 있는 곳과 그렇지 않는 곳에서는 동상현상에 의한 법면의 상태가 크게 다르다. 따라서 법면으로 지하수 공급이 있는 경우나 함수비가 높은 지반에서는, 미리 충분한 배수대책의 검토를 행할 필요가 있다

【해 설】

사면의 경우, 적설 한랭지에서는 융설 시의 붕괴나 동결융해에 따른 박리, 낙석이 문제가 된다고 지적하고 있다. 일반적으로 사면대책공의 계획, 설계에 있어 지반의 동결, 동상을 예상하고 설계를 하는 경우는 드물지만 한랭 지역에서는 특정 조건 하에서 사면을 구성하는 지반 내에 동결·동상이 발생한 경우 융설기뿐만 아니라 동결 기간을 통해 사면 및 사면구조물에 변상, 파손 피해가 발생하고 있다.

본 항에서는 사면 대책공에서 지반의 동결·동상현상에 대한 '억제, 완화 기능'을 갖는 공법과 '억지 또는 변위자체를 흡수하는 기능'을 갖는 공법에 대해 소개하고 각각의 장점과 유의사항에 대해 설명한다.



<그림 3-4> 다수앵커식 보강토옹벽(점성토)에서의 동결선의 진행

따라서 벽면재 배면의 흙이 동상성이면 벽면재를 바깥측으로 밀어내려는 동상압이 발생하게 된다. 이 실험에서는 토압(동상압 또는 동상토압)을 계측하여 점성토에서 최대 40kPa의 동상압이 발생하였다. 동상압은 일평균기온이 0℃를 하향함과 동시에 발생하기 시작해 피크는 한파의 피크와 거의 일치하였다.

실제 보강토 옹벽의 피해사례는 일본 장야현의 시도에서 시공완료 후 동절기 동상에 의해 보강재 연결부에 과도한 응력이 작용하여 전면벽체와 띠형 보강재 연결부 파단 및 전면벽체가 탈락한 사례가 있다.



<그림 3-5> 보강토옹벽의 동상피해

좀처럼 없는 사례이지만 시멘트 고화재로 개량된 흙을 재료로 한 대상(帶狀)금속재에 의한 보강토 옹벽에서 벽면재의 탈락이 보고된 사례가 있다. 이 현상은 벽면에 가까운 개량토가 오랜 기간에 걸쳐 열화되고 한기에 의해 열화 된 개량토가 동결하여 일부 보강재와 벽면재의 결합부를 파손시켰다고 추측되었다. 이러한 경우의 대책으로서는 동결범위를 비동상성 재료로 치환하는 것이 확실한 방법이다.

4.5 기초 설계기준 및 관리방안 제안(안)

1. 동결피해 대상 구조물 설계 및 시공기준 변경 제안(안)

가. 구조물 기초 설계기준 (국토해양부, 2008)

현 재	개 정 안 (안)	근거 및 참조
제 2장 설계 일반 2.1 일반사항 2.1.1 구조물 기초는 다음과 같은 조건을 만족하도록 설계하여야 한다. (1) (기존내용) (2) (기존내용) (3) (기존내용) (4) (기존내용) (5) (기존내용) (6) 기초의 깊이는 지반의 동결 깊이보다 깊어야 한다.	제 2장 설계 일반 2.1 일반사항 2.1.1 구조물 기초는 다음과 같은 조건을 만족하도록 설계하여야 한다. (1) 좌동 (2) 좌동 (3) 좌동 (4) 좌동 (5) 좌동 (6) 기초의 깊이는 지반의 동결 깊이보다 깊어야 한다. 동결깊이는 동상방지층 설계지침을 참조한다.	동결깊이의 산정이 '도로동상방지층 설계지침'(2012.9)에 새롭게 제정되어 동상방지 관련 기준에 제안.
2.3 관련조사 2.3.2 지반조사는 예비조사, 본 조사, 추가조사로 구분하며 이들에 대한 구분은 다음과 같으며 세부사항은 제 3장에서 정하는 바를 따른다. (1) (기존내용) (2) 본 조사는 기초 설계 및 시공에 필요한 제반 지반정보를 얻기 위하여 실시하며, 지층구성, 지지력과 침하 및 기초시공에 영향을 주는 범위를 대상으로 한다. (3) (기존내용)	2.3 관련조사 2.3.2 지반조사는 예비조사, 본 조사, 추가조사로 구분하며 이들에 대한 구분은 다음과 같으며 세부사항은 제 3장에서 정하는 바를 따른다. (1) 좌동 (2) 본 조사는 기초 설계 및 시공에 필요한 제반 지반정보를 얻기 위하여 실시하며, 지층구성, 지지력과 침하, 동결 및 기초시공에 영향을 주는 범위를 대상으로 한다. (3) 좌동	지반조사시 동결부분 추가
2.4 기초계획 2.4.2 지반조사 결과를 토대로 기초가 놓이게 될 지반에 대한 지층의 성상과 각 지층별 공학적 특성을 분석하여 상부구조물 하중을 안전하게 지지할 수 있는 지층을 파악한다.	2.4 기초계획 2.4.2 지반조사 결과를 토대로 기초가 놓이게 될 지반에 대한 지층의 성상과 각 지층별 공학적 특성 및 동결피해 여부를 분석하여 상부구조물 하중을 안전하게 지지할 수 있는 지층을 파악한다.	지반조사시 동결부분 추가

5. 자문위원 의견정리

-목 차-

5. 자문위원 의견정리

1. 터널 ..... 부록 - 1

2. 사면 ..... 부록 - 3

3. 옹벽 ..... 부록 - 4

4. 기초 ..... 부록 - 5

5. 자문위원 의견정리

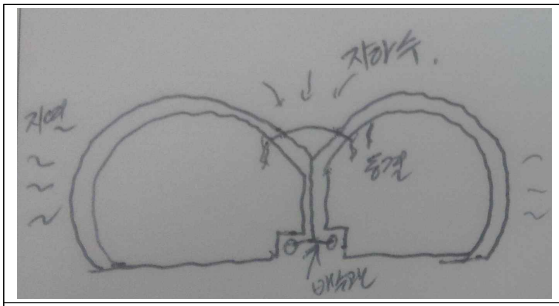
자문위원 분야별 - 의견 정리

터널분야
터널위원-1 - 본 연구는 동결피해지역의 지반구조물 기준에 대한 설계 및 시공지침 제안으로서 '동결'과 '동상'의 의미는 터널, 사면, 옹벽, 기초구조물에 따라 큰 차이가 있으므로 용어 정립이 우선시 되어야 한다고 판단됨. - 터널과 인공사면의 경우, 지하수 상승에 따른 모세관에 의한 동상으로 구조물 피해가 발생하기 보다는 동절기 전에 강우에 의해 침투된 수분이 동결되면서 발생하는 동해(동결에 의한 피해)가 지배적일 것으로 판단되므로 상기에 기술된 '동결'의 의미를 부각시켜 최종 결론을 도출함이 타당할 것으로 사료됨. - 각각 구조물 조건에 따라 흙의 종류(토질), 수분(지하수), 온도조건(영하지속시간)으로 구분하여 동상 피해 및 방지 기술을 구분 평가하면 더욱 기술적인 평가·관리기준이 수립될 것으로 판단됨.
터널위원-2 - 설계. 시공 중, 시공 후를 구분하여 "동결피해지역 피해저감을 위한 지반구조물 평가. 관리기준"을 제안할 필요가 있음. 또한, 기존 구조물의 동결피해 저감을 위한 관리방안 마련도 향후 필요할 것으로 사료됨 - 물의 동결, 흙의 동결, 지반의 동상을 구분하여 정립할 필요가 있음. (용어의 재정립) - "도로동상 방지층 연구단", 한국건설기술연구원의 "국내포장국도의 동결깊이 조사와 유지관리" 보고서를 참조하여, 본 연구에 반영할 필요가 있음.(특히 동결지수, 동결깊이 내용) - 겨울철 공사 시, 시공지침은 언급이 없음. 향후 연구 과제이면 추진방안 제안 필요함.
터널위원-3 - 동결. 동상. 동착상향력을 구하기 위한 시험이 전제되어야 함. 국내 시험규정이 전무한 상황에서 기준제시는 곤란함. - (동절기사면 내) 앵커. 네일 등의 보강체가 사면안정에 미치는 영향 고려 필요. 이 역시 동결. 융해 영향 고려 필요
터널위원-4 - 숏크리트와 콘크리트 라이닝 사이에 -> 방수막과 콘크리트 라이닝 사이에 - 터널 입,출구부 콘크리트 라이닝의 동결융해에 의한 균열방지를 위한 대책검토-> 콘크리트 라이닝 내부에 균열 방지 철근 설치 등

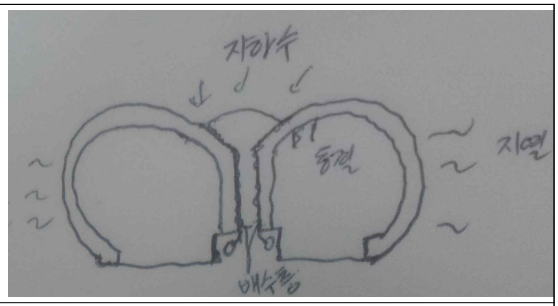
- 터널형식 및 형태(재래식, NATM, Two-Arch)에 따른 적합한 대책 검토

터널위원-5

- two-arch 터널 중앙벽체 누수 사례 많음



<기존 two-arch>



<이중라이닝 two-arch>

1) 중앙벽체의 경우 지열에 의한 동결저항 없음.

2) 교량 위의 눈이 잘 녹지 않는 것과 유사한 현상

3) 도로공사 기준은 수정동결지수 700°c day 이하이더라도 동결 피해가 발생하므로 연구를 통한 기준 설정 또는 보강 대책 의무화 등이 필요함.

- 기존 터널과 신설 터널로 구분하여 동결 피해 방지 대책에 대한 연구가 필요함.
- 터널 갱구부의 경우 갱구부의 방향 (태양과의 위치 관계)에 따른 일영분석 등을 통하여 음지부는 특히 동결에 대한 대책 검토가 필요함.

1) 관련 문구를 기준 등에 수록 필요.

사면분야

사면위원-1

- 국내 지반구조물에 대한 동상, 동결에 대한 학술적인 연구가 미흡하므로 장기적으로 기준이나 지침작성을 위해 연구수행이 필요함.
- 본 연구과제에서는 동상 및 동결에 대한 설계기준을 제안하고 향후 지속적인 연구가 수반되어 세부적인 지침 및 기준 작성이 필요함.
- 동결 지반의 구조물에 대한 관리 기술의 제안도 필요할 것으로 사료됨.

사면위원-2

- 각 지반 구조물 별 동상에 대한 되해 사례 및 메카니즘 등에 대한 국내외 자료 조사가 중요할 것으로 판단됨
- 동결심도, 동결지수 등의 적용이 절토사면에 가능할지도 연구가 필요할 것으로 판단됨.
- 사면에서는 동상으로 인한 피해유형, 동결에 피해 유형 등에 대한 사례가 많음. 도로의 동결지수 동결심도와는 차이를 보일 것으로 사료되며 적용에 대한 연구가 필요함.
- 동상압에 대한 연구 및 평가도 필요함 (추가 연구 과제 필요)
- 기존 설계 지침에 개정(안)을 제안하는 것 보다 동결 피해 지반구조물 만을 제안하는 것이 타당할 것으로 판단됨.

사면위원-3

- 평가기준, 관리기준, 설계지침, 시공지침을 만들기 위해서는 많은 연구가 필요할 것으로 판단됨.
- 억지공(예: 앵커, 네일링)이 시공된 사면에서 동상에 대한 기준을 정하기 위해서는 동상 팽창압의 작용에 따른 억지력의 적정한 안전율의 개념이 필요함.
- 동상의 종류 중 사면의 얕은 파괴형태의 피해는 식생녹화공을 손상 시키므로 식생공의 종류에 따른 내동상성층의 평가를 하여 시공 지침으로 만드는 것이 필요함.

사면위원-4

- 동결심도, 지속기간 등에 따른 체적 팽창압을 측정하여 설계지침 작성시 기본 자료로 활용함이 필요함.
- 동결심도 별 기본 차이 등을 계측을 통하여 자료 확보함이 필요함.
- 동결 지속 시간, 토질조건, 함수 특성 등에 따른 동결심도 특성을 파악하여 지침작성시 참고 할 수 있도록 함이 필요하다.

옹벽분야

옹벽위원-1

- 계단식 옹벽, 터널 출입부에서 겨울철 배수구 동결로 인해 안전사고 발생 우려 되므로 배수 시스템 개선 필요.
- 양지와 음지로 구분된 사면과 옹벽 등에 앵커 등의 보강공법 설치 시 흙의 종류에 따른 동상압력 뿐만 아니라 기초 구조물의 동상량에 대한 정량화로 지반구조물의 거동 특성은 본 정책연구의 특성과 남은 연구기간을 고려하여 향후 본 연구와 연계된 과제 도출로 정량적인 설계 시공 지침 개선(안)이 만들어져야 함이 타당함

옹벽위원-2

- 옹벽 보수, 보강 이력조사 결과에서 A지역과 B지역의 뚜렷한 차이가 없다. 즉 A지역의 보수보강 이력이 많아야 동상에 의한 옹벽의 피해가 심각하다는 결론이 도출될수 있다. 실제로 옹벽이 동상의 피해를 받고 있는지 분석이 필요하다.
- 동상문제로 인하여 옹벽에 보수, 보강이 발생하고 있다면 어떤 형태의 손상이 발생하고 있는지(메카니즘 규명) 조사가 필요하다. 원인 규명이 되어야 대책방안이 제시될 수 있다. 이 부분에 대한 조사 및 분석이 보안되어야 한다.
  1) 배면토사의 동결융해에 따른 압력증가.
  2) 배수구의 막힘과 그에 따른 지하수 정체후 여는 과정에서 압력증가
  3) 시공이음부에 침투한 지하수가 어는과정에서 발생한 압력 등

옹벽위원-3

- 동상관련 설계기준 변경에 따른 선행 연구 과제 등이 필요함
  옹벽 배면의 동결심도 측정, 옹벽 배면 온도계측을 통한 단열 효과 검증
- 강원지역 옹벽의 피해 사례 조사 시 동결에 의한 피해 사실인지 확인

옹벽위원-4

- 옹벽에 발생가능한 동상피해를 사례별로 정리할 필요가 있음(옹벽 보수보강 이력 자료 활용)
- 도로설계 편람 개정안에 기술할 경우 현재 설계법이나 연구결과에 비추어 보면 구체적인 방법을 제시하는 것은 불합리함
- 향후 옹벽배변의 온도측정을 장시간 실시하여 구조물의 미치는 영향 등에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 사료됨

옹벽위원-5

- 우선적으로 지반으로부터 과다 용수발생구간은 철저한 배수 처리시설(동상방지층, 드레인보드 등) 설치하도록 하는 것이 적정함
  -> 보강토 옹벽 보강토체 배면에도 설치 용수부에는 배수 층 설치 등
- 옹벽 (콘크리트옹벽, 보강토옹벽 등)의 동결 mechanism 에 대한 추가적인 연구 수행 후 대책방안 설계기준 수입 등이 필요함

기초분야

기초위원-1

- 동결 관련 기술분야 설계시공지침은 지반 기술자들의 관심과 교육적인 목적을 위해서도 필요하다고 생각됨.
- 동결과 동상 (frost heaving)을 구분해서 기초분야 설계시공 지침에 반영했으면 함.
- 동상 피해와 관련하여 동결심도 이내에 설치되는 저심도 기초 (낙석방지책 기초, 안내표지판 기초 등)에서 피해가 크므로 이에 대한 기초 형식 (동상에 영향이 적은 기초 형식)에 대한 표준안 제시 필요.

기초위원-2

- 우리나라의 동결심도는 1m 내외로서 일반적인 토목구조물의 기초두께를 고려해 볼 때 동결피해가 자주 발생할 가능성은 낮음. 그러나 최근의 극한지 해외사업이나 통일 후 북한지역에서의 건설을 고려할 때 기초의 동결문제에 대한 설계기준을 포함하는 것이 바람직함.
- 대표적인 극한지인 캐나다의 경우, 구조물의 동결피해 방지를 위한 여러 가지 설계기준이 제정되어 있음 (첨부 자료 참조)
  1) 각 지역별 동결심도 기준
  2) 동결심도를 지키기 어려운 구조물의 경우 적용 가능한 단열 공법 및 설치 기준
  3) 난방을 하는 빌딩 및 하지 않는 빌딩에 대한 지중 wall 및 기초에 대한 단열 기준
  4) 지중 관로 구조물의 동결 피해 방지 기술
- 우리나라의 경우 대형 토목 구조물의 동결 피해 사례는 거의 전무한 수준이며, 아파트 단지 등의 소규모 조경구조물, 보도, 외벽 마감제 등의 동결에 의한 변형, 융기 사례가 자주 보고 되고 있으므로 이에 대한 설계기준 정립이 필요한 것으로 판단됨.

기초위원-3

- 동결 피해 저감을 위한 지반 구조물 평가 관리 지침, 동기 토공 설계 부문의 상세 사항의 추가를 요함.
- 북해도 개발, 한지 개발 기술 (국토 교통성, 북해도 개발 국, 독립 행정법인 토목 연구소, 한지토목 연구소) 등의 매뉴얼 등의 참조 요함.
- 동기 긴급 복구공사 시 성토 재에 대한 기준 중 함수율에 따른 전단강도와 함설(雪)량에 따른 전단강도 허용에 대한 한계 포함 검토요함.
  1) 지역 별 지중 온도 모니터링에 의한 년 중 최저 온도 기준 등온선, 구분도 등의 영향 검토 및 지역 구분을 위한 검토 요함.
  2) 군별 동결심도 구분 검토 요함
  - 농수로, 지중관로 동계 보수지침 포함 검토 요함.
  - 빙설, 방빙 등 동절기 대책에 대해 국가 후속 연구 요함.

기초위원-4

- 동결심도에 대한 사례는 미국사례(해외)조사 필요.

- 구조물 기초 설계 기준에 제시된 동결가능성 항목에 조사 방법 및 평가 항목에 대한 연구 필요.
- 말뚝 기초에 발생되는 동결피해는 연직력 보다 수평력에 대한 연구 필요.
- 횡력이 주가 되며 기초 깊이가 비교적 얕은 동결이 쉬운 토층에 설치된 철탑기초에 대한 연구가 필요.
- 극한지 자원 개발과 관련하여 본 과제에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단 됨.

기초위원-5

- 모듈러 하우스 경량 창고 등 지하층이나 피트 층이 없이 지표면에 바로 설치하는 경량 건축 구조물의 기초부의 토질에 대한 동결 가능성 진단, 대책(치환 등)에 대한 매뉴얼화가 필요하다.
- 강관의 경우 저온에서 항타 시 취성파괴가 날 수 있으며 이러한 피해 사례 정도를 소개하면 좋겠다.