

## 동결심도에 따른 철도교량기초 동착력 분석

## Analysis of Adfreeze Forces of Railway Bridges Foundation by Freezing Depth

오정호\*, 김서연\*†, 팽재엽\*\*

Jeongho Oh\*, Seoyeon Kim\*†, Jaeyeop Paeng\*\*

**초 록** 연중온도가 낮은 지역에서는 지반의 동결융해현상에 의한 동상력이 발생하게 되며, 이로 인해 철도 노반, 도로포장, 터널, 교량, 매설관 등 토목 및 건축 구조물에 많은 피해를 일으키게 된다. 이에 본 연구에서는 철도교량기초의 동결심도에 따른 동착력 파악을 위해 국내외 피해사례 및 관련 기존연구 분석을 통해 동착력에 영향을 미치는 주요 인자에 대해 연구하고자 한다.

**주요어** : 동결심도, 동착력, 교량말뚝기초

## 1. 서 론

지반의 동결작용은 동상 3요소인 토질, 온도, 수분 조건에 의해 발생하는데 이러한 동결현상은 철도 노반뿐만 아니라 토목 및 건축구조물 등의 팽창·용기로 인해 파손되어 시설물의 파괴 및 기능저하를 가져오게 된다(김영수, 2007). 기초는 주로 활동층의 동상 작용에 의해 발생된 큰 상향력을 받으며, 이러한 영향으로 말뚝 측면을 따라 상향력이 발생하는데 이를 동착력(Tangential adfreeze strength)이라고 한다. 동착력과 관련한 연구로는 Kiselev(1974)가 다양한 토질 및 응력 조건에서 동착강도를 측정하였으며, Tsytoich and Sumgin(1945)는 목재기초가 함수비 50~60% 정도의 실트질 지반에 관입시 동착력이 가장 크게 발현되는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 동결현상에 영향을 미치는 지반의 동결심도에 따른 말뚝기초의 다양한 동착력 산정 방법에 대하여 분석하였다.

## 2. 본 론

## 2.1 동상지역 교량말뚝기초 피해사례

미국 알래스카 주 도로 및 철도교량에서 동결융해에 의한 침하가 발생하였는데, 동상 활동층 지반 및 교량기초의 제원 도사 결과 극저온 지중온도에 따른 교량기초와 주변 지반과의 동착력 증가가 원인으로 나타났다(Troy L, 1963). 러시아에서는 교량기초 주위 동상 활동층 거동에 따른 약 7cm 가량의 부등침하가 발생하였으며(N. Bikov, 1939), 최대 누적 동상 침하량이 약 2m 발생하였다(Liverovsky, 1941).

## 2.2 말뚝기초 동착력

## 2.2.1 동착력

동상 지반에서는 기초면 아래 작용하는 상향력과 동결 영역 내 말뚝 측면을 따라 작용하는 동착력으로 인해 지반에 동상력을 일으키게 된다. 말뚝의 동상 활동층은 상향동착력, 동토층에는 하향동착력이 발생한다. 말뚝 표면을 따라서 발생하는 최대 상향력은 동착력 깊이가 최대일 때 발생하므로 동착력이 기초의 동결에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

† 교신저자: 한국교통대학교 철도시설공학과 (seoyeon9595@naver.com)

\* 한국교통대학교 철도인프라시스템공학과

\*\* 한국교통대학교 철도인프라시스템공학과

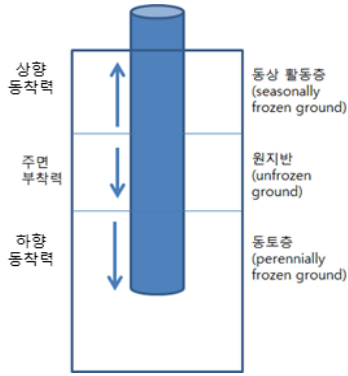


Fig. 1 Adfreeze Strengths in Pile Foundation

### 2.1.2 동착력 산정식

동결작용에 영향을 미치는 동착력과 관련한 산정식을 아래 Table. 1에 정리하였다. 이를 토대로 말뚝기초에 작용하는 동상량과 동착력의 크기는 흙의 종류, 말뚝기초의 종류, 함수비, 지중온도 등에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

Table.1 Adfreeze Strengths calculating formula

References	Adfreeze Strengths										
Tsytovich (1959)	$F = P^{cf} (c - 0.5bT_m)$ <p><math>F</math>=진 동착력(kg), <math>P</math>=동결도와 접하는 말뚝 주변장(cm),  <math>c</math>=동결도 영역의 두께(cm), <math>b</math>, <math>c</math>=실험변수, <math>T_m</math>=동결영역에서 최소 온도(°C)</p>										
B. Dalmatov (1957)	$S = a - bt$ <p><math>b</math> = 실험변수 = 10 ~ 20 (kPa/°C)  <math>S</math> = 잔류동착강도, <math>t</math> = 온도(°C)</p>										
Andersland (1978)	<p>동착력 78.5 kpa (온도 -3°C 이상)          동착력 58.8 kpa (온도 -3°C 이하)          (현장데이터가 없을 경우)</p>										
Weaver (1981)	$\tau_a = m S_e t$ <p><math>S_e t = C_{et} + \sigma_n \tan \phi_u</math>  <math>C_{et}</math> = 영구동토의 장기 접착력  <math>\phi_u</math> = 영구동토의 장기 내부마찰각</p> <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <thead> <tr> <th>말뚝 종류</th> <th>m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Steel</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>Concrete</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>Timber (uncrossed)</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>Corrugated steel pile</td> <td>1.0</td> </tr> </tbody> </table>	말뚝 종류	m	Steel	0.6	Concrete	0.6	Timber (uncrossed)	0.7	Corrugated steel pile	1.0
말뚝 종류	m										
Steel	0.6										
Concrete	0.6										
Timber (uncrossed)	0.7										
Corrugated steel pile	1.0										
Nidowicz (1998)	$Q_h = (1/FS) \cdot (Q_1 + Q_p)$ <p><math>Q_1</math> = 동상력 = <math>f_h \cdot A_f</math> <math>A</math> = 활동층 파일의 표면적  <math>Q_p</math> = 유효하중 <math>Q_p</math> = 활동층과 파일 사이의 동착력 <math>FS=3.9</math></p>										

\* 한국건설기술연구원(1994), Nidowicz (1998)

## 3. 결론

본 연구에서는 동상에 영향을 미치는 동착력을 연구하고자 말뚝기초의 동착력 산정에 대한 분석을 실시하였으며, 동착력 산정 시 중요하게 인식되는 인자들에 대해

알아보았다. 동착력은 토질 및 온도 조건과 밀접한 관련을 나타내었으며 말뚝의 재료와 표면 특성에 관한 값  $m$ 은 강철, 콘크리트, 목재, 나선 강철 파일 순으로 큰 값을 나타내었다. 이를 토대로 기초 말뚝 재료의 종류에 따라 동착강도 값에 영향을 미치는 것을 알 수 있을 뿐만 아니라 경험을 통한 동착력 산정식을 이용하여 동착력의 크기를 예측 가능하다. 말뚝기초 설계 시 동상에 대한 영향을 고려하는 방법으로 동결심도 아래에 설치하는 것이 일반적이나, 이와 같이 동착력 산정식을 활용한 방법을 통해서 효과적으로 동상을 고려할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Tsytovich, Sumgin (1945), "Frost Heaving of Pile With an Example From Fair banks", Alaska, United States Department of the Interior, Geological Survey Bulletin 1111- I , pp 350-365.
- [2] TROY L. PEWE (1963), "Frost heaving of piles with an example from Fairbanks", Alaska, Geological Survey Bulletin 1111- I , pp. 363-397.
- [3] Kiselev, M. F. (1974), " Standard Value of Tangential Forces of Frost Heaving of Soil", J. Soil Mech. Found Eng. (U.S.S.R), No 3, pp 41-43. (Translated by Consultants Bureau, New York)
- [4] N. Bikov(1939), Permafrost and construction, Transzheldorizdat, Moscow, pp 372.
- [5] Liverovsky, Morozov (1941), "Construction on permafrost: Moscow", English translation by Meir Pilch for U.S. Army, Office Chief Engineer, Military Construction Division, St. Paul District, 306 p., 1952.
- [6] Bernard Nidowicz (1998), Russian and North american approaches to pile design, Seventh International Conference, Yellowknife(Canada), Collection Nordicana No 55.
- [7] 한국건설기술연구원 (1994), 동토연구 보고서.
- [8] 김영수 (2007), 지반의 동상력과 구조물의 피해대책, 한국지반공학회 논문집, 제23권 5호 pp. 43~51.