

최근 기후 온난화에 따른 동결지수 적용에 관한 연구

Study of Application of Freezing Index Considering Climate Warming

전종명* · 이석근** · 김인태*** · 임정용**** · 한용진*****

Jeon, Jong Myung · Rhee, Suk Keun · Kim, In Tae · Lim, Jung Yong · Han, Yong Jin

1. 서론

동상과피(frost damage)는 동결과정에서 융기, 즉 동상(frost heaving)과 융해 시 지지력 감소로 대별된다. 특히 도로포장에서의 동상은 융해과정의 강성 감소 영향이 매우 중요해서, 영구동토지역 또는 LNG 저장시설 등에서의 동상과는 공학적으로 매우 큰 차이가 있다. 현재 설계법은 동결깊이의 결정에 있어 기온자료를 분석하여 만든 동결지수를 근간으로 하여 동결지수와 동결깊이의 상관관계식으로부터 동결깊이를 산정하여 동상방지층의 두께를 일률적으로 결정한다. 그러나 실제 포장 내 토사들의 함수비는 계절적으로 변하고 있으며 포장 내 토사의 함수비는 동결깊이와 밀접한 관계를 가지고 있다. 하지만 국내의 동결깊이 산정식은 이러한 사실들을 고려하지 못하고 더욱이 포장 재료들의 열적 특성조차 반영하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 동결깊이를 포장구조설계에 적용하다 보니 포장설계의 부실 내지는 과다설계의 우려가 있다. 또한 동결깊이 산정에 사용하는 동결지수는 2003년 건설교통부에서 발표한 기준을 적용하고 있으나 기후 온난화 현상 등 변화된 기상조건을 반영하여 현실에 적합한 동결지수의 재산정과 이를 통한 도로포장 설계 시 동결심도 산정의 적정 기준을 제시할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 전국 81개 측후소의 최근 31년(1979년~2009년)간의 기후자료를 수집하였다. 최근 기후의 변화에 따른 동결지수 특성을 파악하기 위하여 최근 30년간, 20년간, 10년간, 5년간 각각의 기간에 대한 동결지수를 산정하여 비교 분석하였다.

2. 기후자료 수집 및 분석

본 연구에서는 기후환경 변화를 고려한 동결지수 특성을 분석하기 위하여 기상청으로부터 81개 측후소의 최근 31년(1979년~2009년)간의 기후자료를 수집하였다. 31년간 각 해마다 동절기인 11월부터 3월까지 5개월간의 일평균 기온을 수집하였다. 수집한 자료는 그림 1과 같이 5개월간의 데이터를 누적하여 그래프로 나타내어 동결지수 및 동결기간을 산정하였다.

* 학생회원 · 경희대학교 토목공학과 도로연구실 · 박사과정 · 031-201-2923(E-mail:rang-ne@hanmail.net)

** 정회원 · 경희대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 031-201-2900(E-mail:skrhee@khu.ac.kr)

*** 정회원 · 명지대학교 교통공학과 조교수 · 공학박사 · 031-330-6505(E-mail:kit1998@mju.ac.kr)

**** 학생회원 · 명지대학교 교통공학과 석사과정 · 031-201-2923(E-mail:iiiijjyyy@hanmail.net)

***** 학생회원 · 경희대학교 토목공학과 도로연구실 · 석사과정 · 031-201-2923(E-mail:rome@khu.ac.kr)

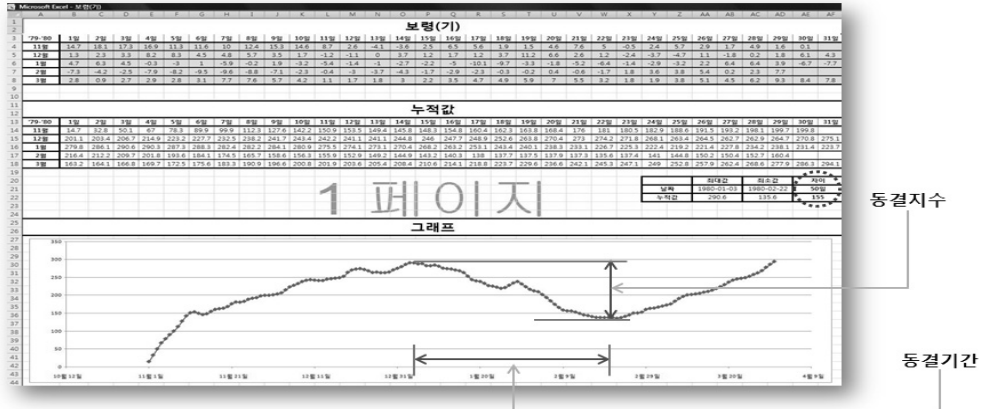


그림 1. 기후자료 분석

3. 동결지수 특성 분석

3.1 동결지수의 정의

동결지수는 포장내의 동결관입깊이를 산정하기 위한 대표적 척도로써, 포장구조와 노상도를 동결시키는 대기온도의 강도와 지속기간의 누가영향으로 표시된다. 동결지수의 단위는 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ 이며, 그림 1과 같이 어느 동결 계절 동안의 누가 온도·일에 대한 시간곡선상의 최고점과 최저점의 차이로 나타난다. 동결지수의 산정은 대상지역의 인근측후소에서 관측한 월평균대기온도의 크기와 지속기간에 대한 30년 기록을 토대로 한다. 도로포장의 동결심도를 결정하는데 사용하는 값을 설계동결지수라고 하는데 설계동결지수의 산정은 대상 인근 측후소에서 관측한 월 평균 대기온도의 크기와 지속기간에 대한 30년간의 기상자료에서 추위가 가장 심하였던 3년간(즉 동결지수의 최대 3년치)의 평균동결지수로 정한다. 만일 30년간의 기상자료가 없으면 최근 10년간의 최대동결지수를 설계동결지수로 산정한다.

3.2 동결지수 분석

각 측후소 별로 31년간 기후자료를 수집하여 동결지수를 산정하였으며, 기후환경 변화에 따른 동결지수 특성을 파악하기 위하여 최근 30년간, 20년간, 10년간, 5년간의 동결지수를 산정하였다. 30년간의 동결지수는 최대 동결지수 3개년 값을 평균하였고, 20년간의 동결지수는 최대 동결지수 2개년 값을 평균하였다. 10년간 및 5년간의 동결지수는 최대동결지수를 사용하였다. 또한 기존 1980년에 작성된 동결지수와 2003년에 작성된 동결지수와 비교 분석하였다. 81개 측후소 자료를 2003년 동결지수선도에 따라 $500^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 이상, $500^{\circ}\text{C}\cdot\text{day} \sim 300^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$, $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{day} \sim 100^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 와 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 이하로 구분하여 기존 동결지수와 본 연구에서 산정된 동결지수를 비교하였으며 동결지수의 변화 추세를 분석하였다.

3.2.1 동결지수 구분에 따른 동결지수 평균값 비교

그림 2는 동결지수선도에 따른 $500^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 이상, $500^{\circ}\text{C}\cdot\text{day} \sim 300^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$, $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{day} \sim 100^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 와 $100^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 이하의 기존 동결지수와 본 연구에서 산출한 동결지수의 평균값을 비교한 것이다. 최근 30년간의 동결지수는 2003년 동결지수와 큰 차이를 보이지 않았고, 최근 20년간의 자료로 산출된 동결지수는 기존 값과 큰 차이를 나타내었다. 10년간 및 5년간의 동결지수는 20년간 동결지수와 큰 차이를 보이진 않았는데 이는 80년대 추위가 극심한 해가 많았으며, 그 해의 큰 동결지수가 기존 동결지수 및 30년간 동결지수 산정에 영향을 끼쳤기 때문이다. 즉, 90년대 이후부터 동결지수가 급격히 감소하는 현상을 보였다. 30년간의 동결지수는 2003년 동결지수에 비해 평균 $27^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 감소하였으며, 20년간의 동결지수는 평균 $134^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$, 10년간, 5년간의 동결지수는 각각 평균 $146^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$, $152^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 씩 감소하였다.

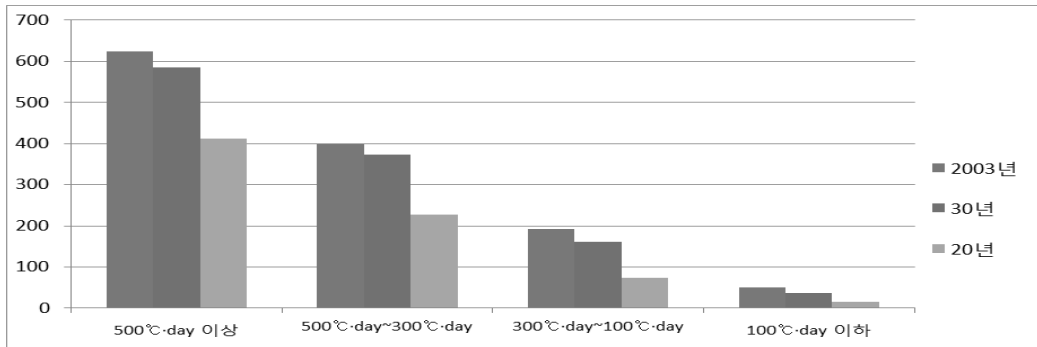


그림 2. 동결지수 비교

3.2.2 동결지수 변화 추이 분석

기상청으로부터 수집한 81개 측후소의 최근 31년(1979년~2009년)간의 기후자료를 이용한 동결지수 산정 결과, 그림 3에 보이는 바와 같이 86년 이후로 동결지수가 급격히 감소하여 현재까지 연동구간을 나타내고 있다.

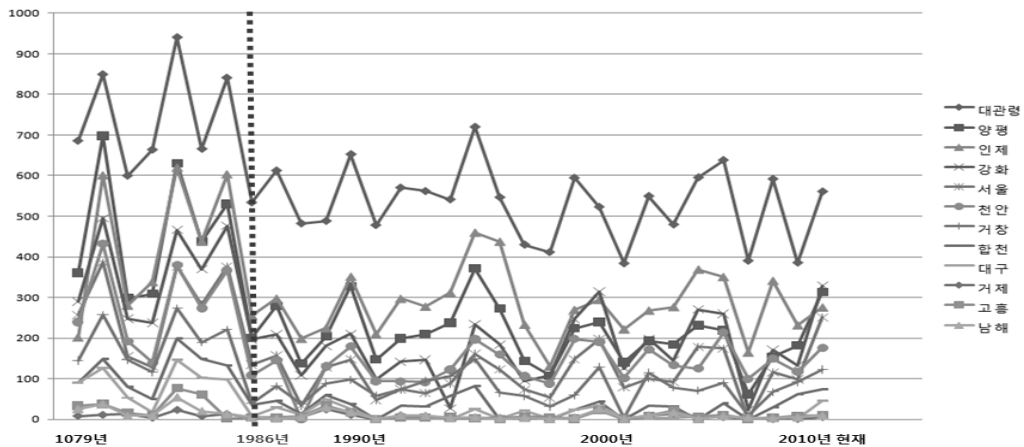


그림 3. 동결지수 변화 추이

3.2.3 동결지수 산정시 최대치 3년의 사용빈도

표 1은 30년 동결지수 산정 시 적용되는 최대치 3년의 사용빈도를 보여주고 있다. 80년, 83년, 85년이 각각 54, 58, 37회 사용되었으며 79년이 6회, 84년은 13회가 사용되었다. 90년대 이후부터 동결지수 사용빈도가 급격히 감소하는 현상을 보였는데 이는 80년대 추위가 극심한 해가 많았으며, 그 해의 큰 동결지수가 기존 동결지수 및 30년간 동결지수 산정의 대부분을 차지하고 있기 때문이다. 따라서 현재 30년 동결지수를 산정하여 사용할 경우 대부분 80년대 초중반의 동결지수들이 사용되기 때문에 현재 기후변화 추세를 반영하지 못하는 것으로 사료된다.



표 1. 30년 동결지수 최대치 사용빈도(1979년~2008년)

동결지수 최대치 3년 사용빈도						사용빈도	
지역	30년 동결지수	최대치 3년	지역	30년 동결지수	최대치 3년	해당연도	사용횟수
속초	159.0	80, 83, 85	합천	165.6	80, 83, 84	79년	6
대관령	876.3	80, 83, 85	거창	250.4	80, 83, 85	80년	54
춘천	519.0	80, 83, 85	영천	194.4	80, 83, 85	81년	1
강릉	140.3	80, 83, 85	구미	253.0	80, 83, 85	82년	0
서울	379.4	80, 83, 85	의성	415.7	80, 83, 85	83년	58
인천	347.3	80, 83, 85	영덕	115.4	80, 83, 84	84년	13
원주	602.4	80, 83, 85	문경	255.0	80, 83, 85	85년	37
울릉도	108.4	80, 83, 94	영주	396.9	80, 83, 85	86년	0
수원	456.5	80, 83, 85	성산포	-	-	87년	0
충주	499.5	80, 83, 85	고흥	58.6	80, 83, 84	88년	0
서산	290.7	80, 83, 85	해남	64.2	79, 81, 83	89년	4
울진	102.5	80, 83, 85	장흥	94.7	80, 83, 84	90년	0
청주	400.3	80, 83, 85	순천	144.2	80, 83, 84	91년	0
대전	288.2	80, 83, 85	남원	250.7	80, 83, 85	92년	0
추풍령	287.9	80, 83, 85	정읍	187.1	80, 83, 84	93년	0
포항	70.6	80, 83, 84	임실	411.6	80, 83, 85	94년	1
군산	166.9	80, 83, 85	부안	211.8	80, 83, 85	95년	1
대구	125.7	80, 83, 84	금산	313.3	80, 84, 85	96년	0
전주	206.2	80, 83, 85	부여	319.8	80, 83, 85	97년	0
울산	55.9	80, 83, 89	보령	233.2	80, 83, 85	98년	0
광주	109.4	80, 83, 84	아산	392.7	80, 83, 85	99년	0
부산	34.4	79, 80, 83	보은	447.5	80, 83, 85	00년	4
통영	26.7	79, 83, 00	제천	610.3	80, 83, 85	01년	0
목포	46.7	79, 80, 83	홍천	635.5	80, 83, 85	02년	0
여수	44.3	79, 80, 83	인제	607.4	80, 83, 85	03년	0
완도	19.3	79, 83, 00	이천	494.4	80, 83, 85	04년	1
제주	3.3	80, 83, 89	양평	619.6	80, 83, 85	05년	0
남해	40.8	80, 83, 89	강화	479.5	80, 83, 85	06년	0
거제	23.8	83, 89, 00	진주	118.5	83, 84, 85	07년	0
산청	114.4	80, 83, 84	서귀포	-	-	08년	0
밀양	149.5	80, 83, 84	철원	465.1	95, 00, 04	합계	180

3.3 기후환경을 고려한 동결지수선도 예측

그림 4는 본 연구에서 산출한 최근 20년(1990년~2009년) 동결지수를 적용할 경우 기존 30년 동결지수와 비교하여 어느 정도 동결지수선도가 변화될 지에 대한 개략적인 동결지수선도를 보여주고 있다.

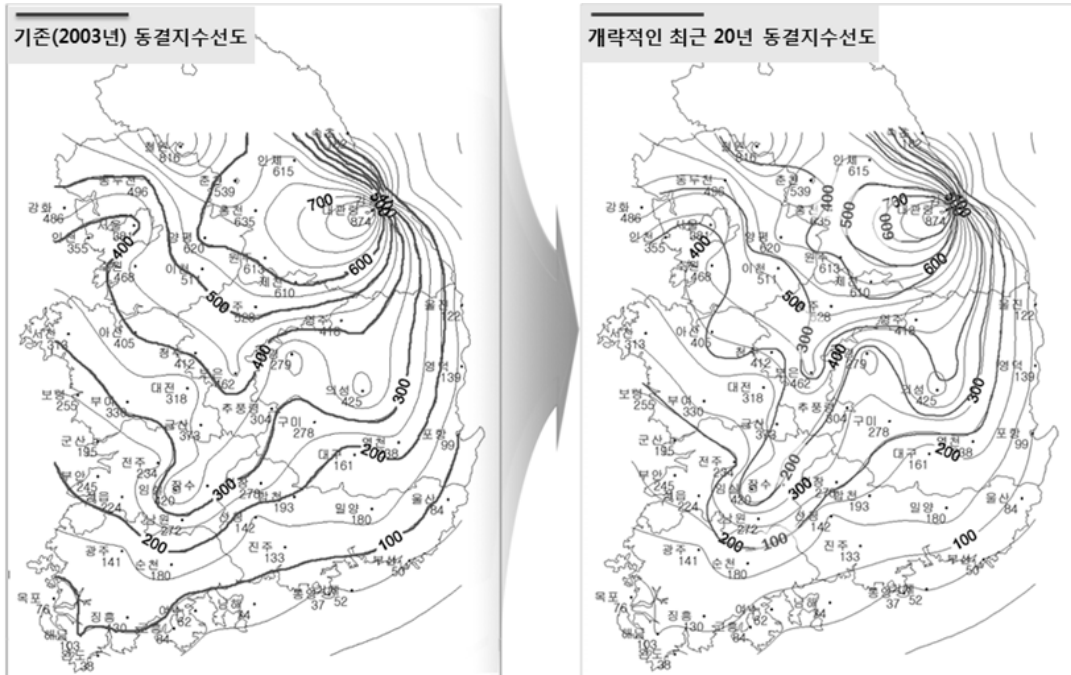


그림 4. 최근 20년('90~'09) 동결지수 적용 시 개략적인 동결지수선도

4. 결론 및 향후과제

본 연구는 전국 81개 측후소의 최근 31년간(1979~2009)의 기후자료를 수집하여 동결지수를 산출하였다. 최근 30년간, 20년간, 10년간과 5년간의 각각의 동결지수를 산출하여 기존의 동결지수와 비교·분석 하였다.

1. 기존 동결지수(1980년, 2003년)에 비해 본 연구에서 30년간의 기후자료를 토대로 작성된 동결지수는 기존 동결지수와 큰 차이를 보이지는 않았지만 거의 모든 지역에서 조금씩 감소하였다.
2. 최근 20년간의 동결지수 산정결과 기존 동결지수(2003년) 및 본 연구를 통해 산정된 30년 동결지수와 매우 큰 차이를 나타내었으며, 10년 및 5년 동결지수는 20년 동결지수와 큰 차이를 보이지는 않았다.
3. 이는 80년대 초중반에 추위가 극심한 해가 많았으며 기존 동결지수(2003) 및 30년 동결지수 산정 시 대부분의 80년도 초의 큰 동결지수가 사용되므로 이러한 결과를 나타내었다.
4. 30년 동결지수 산정 시 최대치 3개년의 사용빈도를 살펴보면 80년, 83년, 85년이 각각 54, 58, 37회 사용되었으며 79년이 6회, 84년은 13회가 사용되었다. 따라서 86년 이후로는 동결지수가 급격히 감소하여 현재 까지 비슷한 추세가 계속되고 있지만 30년 동결지수를 사용할 경우 최근 기후변화를 제대로 반영하지 못함을 알 수 있다.
5. 동결지수의 크기별로 지역을 구분하여 기존 동결지수와 비교하였으며, 평균 동결지수 감소량은 다음 표와 같다. 표에 보여지는 바와 같이 동결지수가 큰 지역일수록 동결지수 감소폭이 크게 나타났다.

동결지수 구분	2003년 평균 동결지수	30년 평균 동결지수	평균 감소량	20년 평균 동결지수	평균 감소량
500℃·day 이상	623.0	585.6	37.4	412.4	210.6
500℃·day~300℃·day	397.8	372.2	25.7	226.5	171.3
300℃·day~100℃·day	191.6	161.6	30.0	73.3	118.3
100℃·day 이하	50.7	37.5	13.2	15.2	35.5



6. 향후 본 연구를 통하여 국내 상황에 맞는 동결지수를 결정하고 최근 기후를 고려한 동결지수선도를 제시하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 한국건설교통기술평가원 건설기술혁신사업인 “도로 동상방지층의 효용성 검증 및 설치기준 연구”의 과제 일환으로 작성되었습니다. 본 연구의 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

건설부 도로국 도로조사단(1980), “동결지수에 관한 조사보고서”
기상청 홈페이지 순별기상자료 <http://www.kma.go.kr>
이경하, 옥창권, 김인수(2003), “동결지수 적용기준에 관한 연구”, 한국도로공사 도로교통연구원 2003년도 연구보고서