

국내 현장계측 자료를 이용한 실측 동결깊이와 동결지수와의 관계

Using local field measurement data and the freezing index measures the relationship between the depth of freezing

한용진* · 이석근** · 전종명*** · 김인태****

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

1. 서 론

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 현장에서는 지형에 따른 양지와 음지의 일조량의 차이가 나며, 이로 인한 포장 내부의 온도는 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 반영하고 현장 여건에 적합한 동결지수의 제산결과 이를 통한 도로포장 설계 시 동결심도 산정의 적정 기준을 제시할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 전국 15개 41개소 계측 현장의 2009년 11월~2010년 3월 간의 기후자료 및 동결깊이 자료를 수집하였다. 동결지수와 동결깊이의 상관관계식으로부터 산정한 동결깊이와 실제 현장에서 계측된 동결깊이를 비교하기 위하여 국립건설연구소(79-80)의 기존 경험식과 미공병단의 완전방지법 및 Japanese식($Z = C\sqrt{FI}$: 수정 Berggren의 식을 간단히 변형)으로 예측모형을 산정하여 실제 현장 데이터와 비교 분석하였다.

2. 현장계측 자료 수집 및 분석

본 연구에서는 현장에서 계측한 동결깊이와 동결지수와 동결깊이의 상관관계식으로부터 산정한 동결깊이를 비교하기 위하여 국내 15개 41소 계측 현장의 2009년 11월~2010년 3월 간의 기후자료 및 동결깊이 자료를 수집하였다. 수집한 자료는 표 1과 같이 각 현장의 절토부, 절성경계부, 저성토 구간의 실제 동결깊이 자료를 수집하였으며, 용인 현장의 절토부와 충주 현장의 절토부, 절성경계부 그리고 보성 현장의 절토부, 절성경계부의 동결깊이가 각 현장의 저성토부 구간에 비해 너무 높은 값을 나타내었다. 이는 해당 현장 계측기의 일조량과 관계가 있는 것으로 예상되며 음지 여부의 현장조사를 진행할 예정이다. 또한 안동 현장의 절성경계부는 계측기의 전력손실로 온전한 데이터 값이 수집되지 못하였다.

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

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

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

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

표 1. 현장계측 자료 수집 및 분석

계측현장	양구		정선		원주		남양주		용인		기평		충주		진천		천안		안동		김천		합천		장성		보성		부여												
구분	절도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계	저성도	절성경계													
동결지수	456.3		347.7		342.3		320.5		254		377.5		296.2		299.9		251.2		301		186.2		174.4		82.2		51.9		147												
동결기간	79일		68일		68일		68일		68일		99일		69일		68일		68일		69일		68일		56일		54일		24일		56일												
최대 동결깊이	118	94	89	140	130	140	97	93	95	54	55	83	56	48	111	103	105	66	64	34	43	38	49	49	37	72	?	68	44	28	36	29	29	9	11	19	50	53	15	22	24

3. 동결지수 vs 동결깊이

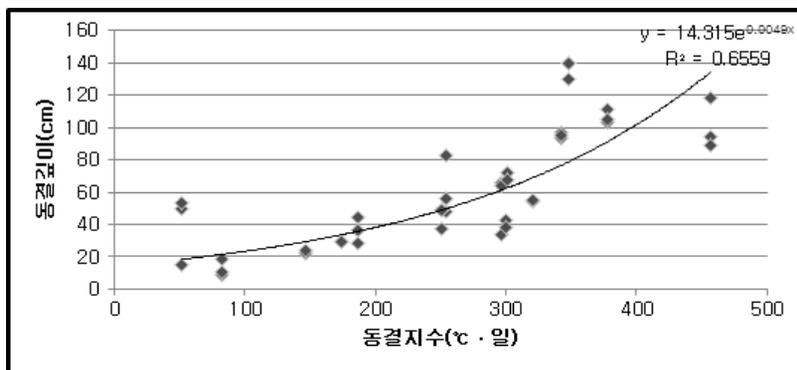
3.1 동결지수의 정의

동결지수는 포장내의 동결관입깊이를 산정하기 위한 대표적 척도로써, 포장구조와 노상토를 동결시키는 대기온도의 강도와 지속기간의 누가영향으로 표시된다. 동결지수의 단위는 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{days}$ 이며, 어느 동결 계절 동안의 누가 온도 \cdot 일 에 대한 시간곡선상의 최고점과 최저점의 차이로 나타나다. 도로포장의 동결심도를 결정하는데 사용하는 값을 설계동결지수라고 하는데 설계동결지수의 산정은 대상 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.

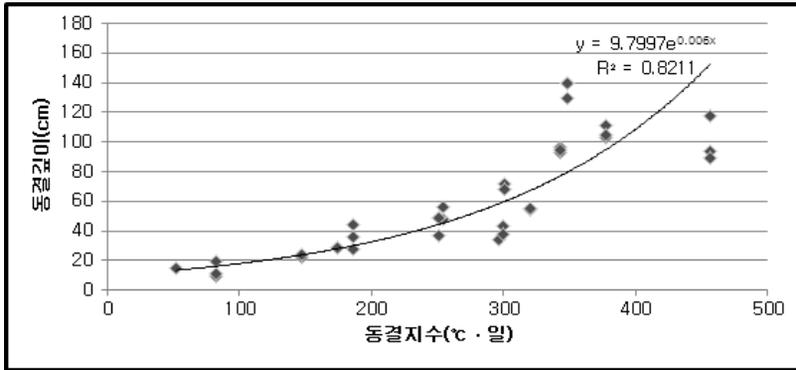
3.2 동결지수와 동결깊이의 관계

각 현장의 계측기에서 2009년 11월~2010년 3월간의 기후자료를 수집하여 동결지수를 산정하였으며, 산정한 동결지수와 실제 동결깊이를 비교하기 위해 추세선을 나타내었다. 다음 그림 1-(a) 그래프에서 $R^2=0.6559$ 로 비교적 낮은 수치를 보였다. 이는 용인 현장의 절토부와 충주 현장의 절토부, 절성경계부 그리고 보성 현장의 절토부, 절성경계부의 동결깊이 값이 각 현장의 저성토부 구간에 비해 너무 높은 값을 나타내기 때문인데, 이는 해당 현장의 음지 여부에 따른 일조량이 동결깊이와 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다. 추후 해당 현장의 현지조건을 조사할 예정이다.

그림 1-(b) 그래프에서는 용인 현장의 절토부와 충주 현장의 절토부, 절성경계부 그리고 보성 현장의 절토부, 절성경계부의 값을 제외하였다. 보이는 바와 같이 $R^2=0.8211$ 로 1에 근접한 값을 보인다.



(a) 15개 현장의 동결지수 vs 동결깊이 추세선



(b) 일부 현장을 제외한 동결지수 vs 동결깊이 추세선

그림 1. 동결지수 vs 동결깊이

3.3 기존 경험식 및 완전방지법 동결깊이 산정

그림 2는 동결지수와 동결깊이의 상관관계식으로부터 산정한 동결깊이와 실제 현장에서 계측된 동결깊이를 비교하기 위하여 국립건설연구소(79-80)의 기존 경험식과 미공병단의 완전방지법 및 Japanese식 ($Z = C\sqrt{FI}$:수정 Berggren의 식을 간단히 변형)으로 동결깊이 예측모델을 산정하였다.

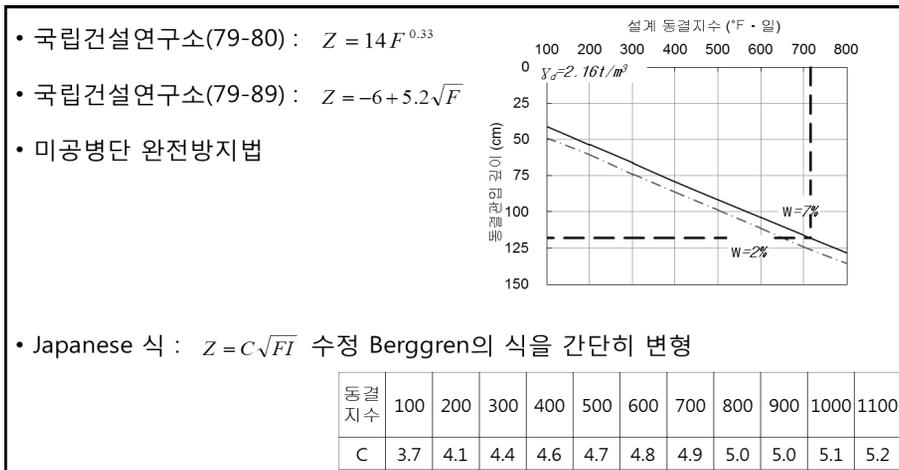


그림 2. 동결깊이 예측모델

표 2에서 보이는 바와 같이 각각의 경험식 및 관계식으로부터 산정한 동결깊이는 실제 동결깊이보다 현장 별로 최소 4cm에서 크게는 24cm의 높은 값을 나타내었다.

표 2. 기존 경험식 및 안전방지법 동결깊이

	양구	정선	원주	남양주	용인	가평	충주	진천	전안	안동	김천	합천	장성	보성	부여
동결지수	456.3	347.7	342.3	320.5	254	377.5	296.2	299.9	251.2	301	186.2	174.4	82.2	51.9	147
국립건설연구소 (79-80)	105.6	96.5	96	94	87	99.2	91.6	91.9	86.7	92.1	78.6	76.9	60	51.5	72.7
국립건설연구소 (79-89)	105.1	91	90.2	87.1	76.9	95	83.5	84.1	76.4	84.2	65	62.7	41.1	31.5	57
안전방지법	121.8	107.1	105.9	101.1	86.5	113.7	95.8	95.8	85.9	96.9	71.1	68.3	46.7	40.3	61.9
Japanese 식	99.3	83.9	82.9	79.5	67.7	88.6	75.4	76.2	67.4	76.3	55.1	52.7			

3.4 상관관계식으로부터 산정한 동결깊이와 실제 동결깊이 비교

그림 3에서는 동결지수와 동결깊이의 상관관계식으로부터 산정한 동결깊이와 실제 현장에서 계측된 동결깊이를 그래프로 비교하였다. 동결지수 $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 이상에서는 비슷한 동결깊이를 나타내지만, $300^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ 이하에서는 실제 동결깊이보다 대부분 높은 값을 보였으며 일부 현장에서는 동결깊이가 최고 3배 이상 차이가 나기도 했다. 이처럼 국내의 동결깊이 산정식은 실제 현장 조건 및 동결깊이를 고려하지 못하고 있으며, 이러한 상관관계식으로부터 산정한 동결깊이를 포장구조설계에 적용하다 보니 포장설계의 과다설계의 우려가 있었다.

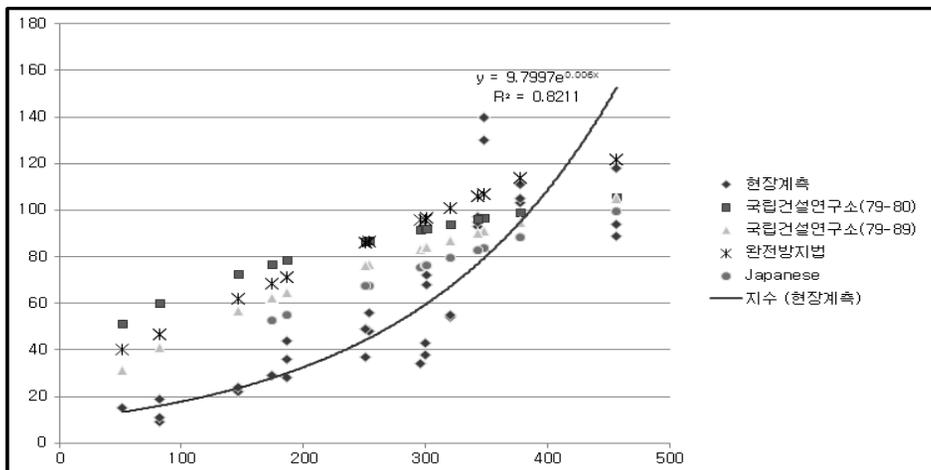


그림 3. 상관관계식으로부터 산정한 동결깊이와 실제 동결깊이 비교

4. 결론 및 향후과제

본 연구는 국내 15개 41소 계측 현장의 2009년 11월~2010년 3월 간의 기후자료 및 동결깊이 자료를 수집하여 동결지수와 동결깊이를 산출하였다. 동결지수와 동결깊이의 상관관계식으로부터 산정한 동결깊이와 실제 현장에서 계측된 동결깊이를 비교하기 위하여 국립건설연구소(79-80)의 기존 경험식과 미공병단의 안전방

지법 및 Japanese식($Z = C\sqrt{FI}$: 수정 Berggren의 식을 간단히 변형)으로 예측모델을 산정하여 실제 현장 데이터와 비교 분석하였다.

- 1) 현장 계측기에서 수집한 자료를 토대로 산정한 모든 현장의 동결지수와 실제 동결깊이를 비교한 추세선에서는 R^2 값이 0.36559로 비교적 낮은 수치를 보였지만, 일부 음지로 예상되는 용인, 충주, 보성 현장의 동결깊이 값을 제외하였더니 R^2 값은 0.8211로 1에 근접한 값을 보였다.
- 2) 동결지수와 동결깊이의 상관관계식으로부터 산정한 동결깊이와 실제 현장에서 계측된 동결깊이를 비교하기 위하여 국립건설연구소(79-80)의 기존 경험식과 미공병단의 완전방지법 및 Japanese식($Z = C\sqrt{FI}$: 수정 Berggren의 식을 간단히 변형)으로 동결깊이 예측모델을 산정 후 현장별로 비교 분석한 결과 실제 동결깊이보다 최소 4cm에서 크게는 24cm까지 동결깊이가 내려가는 것을 알 수 있었다.
- 3) 그래프로 분석한 결과 동결지수 $300^\circ\text{C}\cdot\text{day}$ 이상에서는 비슷한 동결깊이를 나타내지만, $300^\circ\text{C}\cdot\text{day}$ 이하에서는 실제 동결깊이보다 대부분 높은 값을 보였으며, 일부 현장에서는 동결깊이가 최고 3배 이상 차이나기도 했다. 이처럼 국내의 동결깊이 산정식은 실제 현장 조건 및 동결깊이를 고려하지 못하고 있으며, 이러한 상관관계식으로부터 산정한 동결깊이를 포장구조설계에 적용하다 보니 포장설계의 과다설계의 우려가 있다.
- 4) 향후 지속적인 현장 조사와 계측 데이터 수집을 통하여 국내 상황에 맞는 동결깊이 산정식을 개발하고 최근 기후와 지역 특성을 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

- [1] 건설부 도로국 도로조사단(1980), “동결지수에 관한 조사보고서”
- [2] 이경하, 옥창권, 김인수(2003), “동결지수 적용기준에 관한 연구”, 한국도로공사 도로교통연구원 2003년도 연구보고서