

국내 동결심도 자료와 포장설계에 관한 고찰

박성완¹⁾ · 오재원²⁾

1. 개 요

현재 국내에서 동결을 고려하여 포장구조설계에 사용되고 있는 방법은 미국 육군 공병단(COE)에서 1947년에 제시한 방법으로 이를 사용하는 국가는 미국의 우리나라뿐이다. 물론 방법론적으로는 문제가 없는 방법이나 국내 적용성에 있어서의 검증이 전혀 없이 사용되어 온 것도 사실이다. 또한, 국내의 노상 조건은 특수지역(연약지반, 암반 노상)을 제외하고 동결 융해 현상에 그리 민감하지 않은 화강풍화토 등의 지반이 대부분이다. 따라서 그동안 획일적으로 진행되어온 동결깊이를 통한 설계보다는 기후 환경을 고려한 포장의 다양한 설계방법의 변화가 요구되고 있으며 더불어 그에 따른 제반 연구의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

이에 본 기사에서는 기존의 발간된 자료들을 토대로 현재 국내의 도로 포장체 노상의 동결지수와 심도 특성을 살펴보고 이에 따른 포장설계에 대해 간략히 논의하고자 한다.

2. 동결을 고려한 포장설계

일반적으로 기후의 영향을 포장설계에 반영함

에 있어 크게 두가지를 고려하는데 이는 다음과 같다.

- 계절적인 온도의 변화에 따른 포장층의 강성도 변화와 포장의 거동 및 공용성
- 동결 및 융해에 의한 포장 지지력 감소와 포장하부 재료의 물성치 변화

계절별 온도변화에 따른 영향은 많은 나라에서 도로설계시 폭넓게 고려하는 것으로 알려져 있다. 대부분의 경우가 아스팔트 포층 강성도의 온도 의존성을 설계에 반영하며 부분적으로 동결에 대한 두께 설계를 병행한다.

현재 국내의 도로포장설계는 포장체의 물성변화를 전혀 고려하지 않으며 단지 동결의 기간과 그 정도에 기초한 동결심도를 포장 두께 설계에 반영하고 있는 것이 유일하다. 원래 동결심도의 측정 및 예측, 그에 따른 설계의 기본 방향과 개념은 도로 노상 및 지반 부분이 매우 동상에 민감하여 융기를 하는 경우를 대비하여 재료 및 층 두께를 조절하며, 궁극적으로 포장의 손상을 줄이는데 목적이 있다. 반대로 해빙기에는 노상에서의 수분량이 높아짐으로 인해서 (포화도 증가) 포장하부의 지지력 감소로 인한 포장의 파손 및 공용성 저하를 방지하는 것을 목적으로 한다.

1) 정회원 · 한국건설연구원 선임연구원
2) 정회원 · 한국건설연구원 토목연구부 연구원

외국의 경우를 참고하면 표 1은 미국의 동결 응기에 대한 각 주의 고려사항이다 (Forsyth 1993). 각 주마다 상이하나 일반적으로 포장 표면으로부터 일정 깊이의 동상 재료를 제거하거나 비동상 재료로 치환함을 원칙으로 하고 있다. 표 2는 1963년도 미국에서 발표된 자료로 각 기관의 동결에 대한 포장의 두께 설계를 소개하고 있다. 일반적으로 동결깊이의 50%에서 100% 사이에서 포장의 전체 두께를 선택하고 있다(HRB 1963). 대부분의 경우 동결에 대한 설계는 다소 경험적으로 그 지역과 기상의 특성을 반영하고 있다.

우리나라는 계절적 동토로 분류되는 지역에 있어 동결기에 포장체를 포함한 일정 깊이에서 동결을 유지하며 해빙이 되는 봄을 지나서야 동결의 영향을 받지 않게 된다. 현재까지 도로 및 공항 포장의 설계시 이러한 동결을 고려한 전체 포장층의 설계와 동상에 대응하는 하부 재료의 선택으로 이를 극복하고 있다. 특히, 해빙기에 동결되었던 도로하부는 기온이 상승함에 따라서 상대적으로 표면이나 지하수위면 상부의 지반에서 먼저 융해되지만 여전히 동결층을 유지함으로써 융해된 상부의 수분이 배수가 되지 못하고 고이게 되어, 반복 교통하중에 의한 과잉 공극수압을 유발하게 됨으로써 포장의 파손을 촉진시킨다. 따라서 이러한 포장 하부에서의 문제를 저감시키며 포장체의 지지력을 동결과 융해현상에 관계 없이 유지하도록 도로설계에 고려하여야 한다. 이에 따라, 국내에서는 동상방지층(AFL, Anti-Freezing Layer)을 현재 적용하고 있다.

그러나 이러한 동상방지층에 대한 확실적인 고려는 많은 문제를 제기하는데, 이러한 문제점은 실제로 계획된 동상방지층의 두께가 타당한 것이냐 하는 의문이다. 물론 동상의 조건은 재료의 특성, 지하수위, 기온의 3요소를 충족할 때 발생한다. 예를 들어 동상방지층의 설치가 필요하지 않은 구간으로서는 터널내 암반부나 산악지대, 저 지하수위구간으

로써 현 설계 동상방지층 두께는 과다 설계라고 할 수 있다고 판단된다. 또한, 현 도로설계편람에서는 동상방지층에 대하여 골재의 입도만 규정되어 있다. 그러나 골재의 종류나 노상에 따라서 그 효과와 층 두께가 상이하다 (김영진 외 2001).

현재까지 국내의 노상조건에서는 동상에 대한 포장 손상이 많이 보고되지 않고 있다. 이는 동결에 따른 문제가 국부적인 문제임을 시사한다. 그러므로 포장설계법은 동결에 대한 손상(응기)보다는 계절적인 동결을 고려한 층재료의 물성치 변화나 응해시 포장의 공용성 저하를 고려해야 한다. 이는 역학-경험적인 (Mechanistic- Empirical) 포장 설계법에서 환경변화를 고려함에 있어 매우 중요하며 궁극적으로 포장의 유지/관리에서도 같은 개념으로 적용이 가능하다. 따라서 이에 대한 진지한 논의가 필요하다고 할 수 있다.

표 1. 미국 각주의 동결 응기 설계시 고려사항

주	고려사항
Alaska	Control minus 0.075mm sieve size material to a depth of 1.1m(42in.)
Arizona	Judgement
Georgia	AASHTO(72) Regional Factor
Illinois	Top foot of subgrade chemically modified or replaced
Maine	Minimum of 0.9m(36in.) of pavement and gravel based on degree days
Massachusetts	Increase Structural Number
Michigan	Replace to a depth of 1.5m(5ft) from pavement surface
Minnesota	Blend frost susceptible soils to frost depth 1.2 to 1.8m(4 to 6ft)
Nebraska	AASHTO(86)
New Mexico	AASHTO(72) Regional Factor
Ohio	Frost susceptible material removed to a depth of 0.9m(3ft) from the pavement surface
Utah	Remove and replace frost susceptible material or increase pavement thickness
West Virginia	AASHTO 86
Ontario	Increase base and subbase thickness based on frost susceptibility of subgrade soils

표 2. 동결을 고려한 포장두께 설계

지방정부	자 칙																										
New Hampshire	주도로 및 고속도로에서 도로포장 구조의 깊이는 동결지역내의 동상에 민감한 흙을 완전히 제거함을 기준으로 하여 결정함. 저급 도로에서는 더욱 낮은 규정이 적용됨.																										
Delaware	포장구조는 전통적인 방법으로 설계됨. 전체 포장두께가 동상깊이 보다 더 작은 경우는 보조기층의 두께를 포장의 깊이와 최대 동상깊이가 동일하게 되도록 증가시킴.																										
Colorado	전체 포장구조의 두께는 부분적으로 동상깊이를 고려하여 결정됨.																										
Oregon	동상지역에 대해서는 전체 포장구조의 깊이가 예상되는 동상깊이의 1/2 깊이가 되도록 해야함.																										
Nevada	전체 기층과 보조기층의 두께를 주의 1/2 북부지역과 동상 지역에서는 100mm 증가시킴.																										
Washington	전체 포장구조의 깊이가 예상되는 동상깊이의 1/2 깊이가 되도록 해야함.																										
National Swedish Road Research Institute	노상의 동상민감도와 교통하중에 대한 기능으로서 협회에서 개발된 포장두께 설계 차트는 전체 포장두께의 최소 두께 규정을 포함함. 가장 동상에 민감하지 않은 흙(자갈 등)에 대해서는 포장두께의 범위가 150~350mm임. 가장 동상에 민감한 흙(실트 등)에 대해서는 포장두께의 범위가 저교통량일 경우 500mm에서 중차량 지역은 1000mm 까지 임.																										
Canadian Federal Department of Public Works	<p>포장구조의 최소깊이를 평균 동상깊이(10년 평균 동결지수로 부터 결정된)의 1/2과 동일하게 해야함. 동결지수(FI)의 기능으로서 일반적인 포장두께는 다음과 같음.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>평균동결지수(*F-days)</th> <th>최소전체두께(아스팔트 및 콘크리트포장(in.))</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>150</td><td>15</td></tr> <tr><td>200</td><td>17</td></tr> <tr><td>300</td><td>20</td></tr> <tr><td>400</td><td>22</td></tr> <tr><td>500</td><td>23</td></tr> <tr><td>600</td><td>24</td></tr> <tr><td>700</td><td>25</td></tr> <tr><td>800</td><td>26</td></tr> <tr><td>900</td><td>27</td></tr> <tr><td>1000</td><td>27</td></tr> <tr><td>1500</td><td>30</td></tr> <tr><td>2000</td><td>32</td></tr> </tbody> </table>	평균동결지수(*F-days)	최소전체두께(아스팔트 및 콘크리트포장(in.))	150	15	200	17	300	20	400	22	500	23	600	24	700	25	800	26	900	27	1000	27	1500	30	2000	32
평균동결지수(*F-days)	최소전체두께(아스팔트 및 콘크리트포장(in.))																										
150	15																										
200	17																										
300	20																										
400	22																										
500	23																										
600	24																										
700	25																										
800	26																										
900	27																										
1000	27																										
1500	30																										
2000	32																										
Ontario	전체 포장구조의 두께는 일반적으로 동상깊이의 50~75% 정도로 함. 일반적으로 고속도로 관련 기관들은 전체 포장구조의 깊이를 예상되는 동결깊이의 50~100% 범위에서 증가시킴.																										

3. 국도 동결심도 계측 현황

포장 설계에 사용되는 동결심도 산정방법은 직접 동결깊이를 실측하거나 기상자료에 의해 동결지수를 구해 공식으로 산정 하는 방법, 그리고 동결심도 수치지도를 이용하는 방법 등이 있다. 현재 도로설계 편람(건설교통부A 2000)에 사용중인 동결지수는 1949년부터 1978년까지의 30년 동안의 전국측후소 및 농업기상자료에서 측정된 기상온도를 토대로 1980년 도로조사단에서 작성되었다. 또한 국립건설시험소 (현재 한국건설기술연구원과 통합)에서는 1980년부터 1989년까지 10년간 180개소의 지반에서 동결깊이를 직접 굴착하여 육안으로 확인함으로써 전국의 동결심도와 동결지수에 대한 상관식을 제공했다. 그러나 모두 자연흙에서 측정되어 조사 방법과 적용 대상의 문제로 발표된 동결 심도 산정식은 많이 활용되지 않는 실정이다. 이를 보완하기 위해 실제 포장체의 계측은 1991년부터 전국 국도 55개소에 포장체의 하단에 동결심도계(Methylene Blue)를 매설하여 국립건설시험소에서 운영을 시작하여 한국건설기술연구원에서 현재까지 70개소로 확대, 관측중에 있으며 매설 위치는 그림 1과 같다.

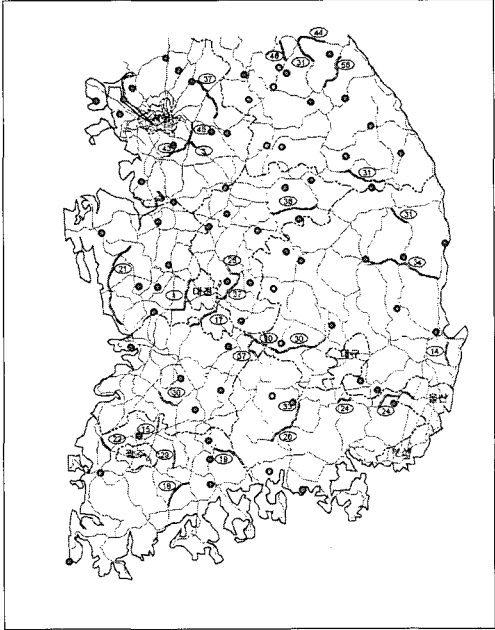


그림 1. 전국 국도내 동결심도계 매설위치 (김영진 외 2001)

4. 국내 동결심도 관측결과

본 절은 기존의 한국건설기술연구원의 동결심도 관련 보고서들을 토대로 작성하였다. 일반적으로 동결심도는 하루의 온도변화에 크게 영향을 받지 않고 누적온도의 변화에 따른다. 그림 2는 경기도 가평에서 측정된 일주일간의 온도변화에 따른 포장표면 온도와 동결심도이다(한국건설기술연구원 1997).

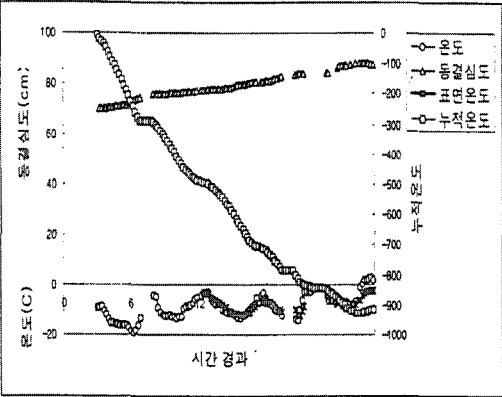


그림 2. 온도변화에 따른 포장표면온도와 동결심도(경기 가평)

동결심도에 가장 큰 영향을 미치는 누적온도는 대기온도의 곡선에 따라 변하며 계속적으로 증가함을 알 수 있다.

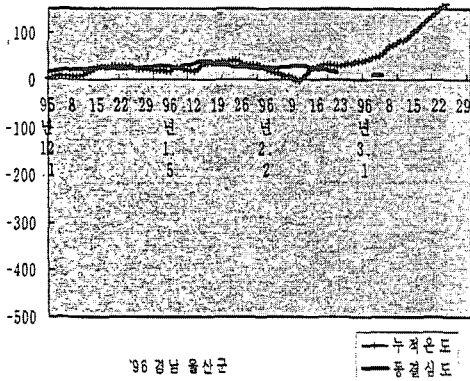


그림 3. 대기온도의 누적치에 따른 동결심도의 변화(경남 울산)

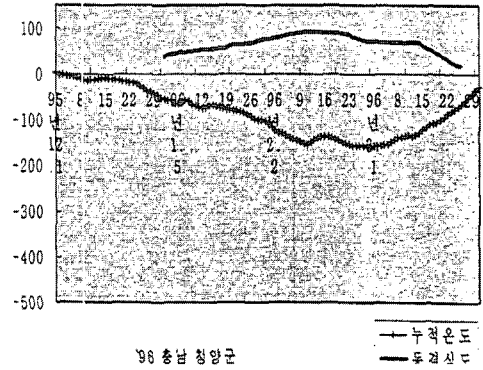


그림 4. 대기온도의 누적치에 따른 동결심도의 변화(충남 청양)

한편 측우소의 위치가 심도 측정 위치에 가까운 곳 중 동결지수 100, 300, 그리고 500 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}$)인 지점의 동결 변화를 보면 다음과 같다. 그림 3에서 동결지수 100 지점인 경남 울산의 경우 관측된 대기온도의 누적치는 영하로 떨어지지 않음에도 동결심도는 약 20cm 이상이고, 3월 초가 되면 해빙이 되었음을 알 수 있다. 온도가 영하로 떨어지지 않으면 동결현상도 없으나 측후소의 고도가 12m인 반면에 측정 도로의 위치가 600m임을 감안하면 고도의 영향이 크리라 판단된다. 한편 현재 도로설계편람에 수정 동결지수 추정시 고도에 따른 기온 감율을 0.9로 정하고 있으나 기상청 관계자에 따르면 국내 건조 단열 감율은 $0.65(^{\circ}\text{C}/100 \text{ m})$ 로 이에 대한 검증 및 보완이 요구된다(기상청 2002).

또한 그림 4와 5은 동결지수 300과 $500(^{\circ}\text{C} \cdot \text{일})$ 에서의 대기온도 누적과 동결심도의 변화를 나타낸 것이다. 누적온도 곡선이 하강하여 최저에 도달하는 기간이 대체적으로 최대 동결심도를 나타내고 있다. 특히 남부지방과는 달리 강원도를 포함한 경기 북부 지방은 동결깊이가 일정기간 지속되고 있다. 특히 동결지수가 $600(^{\circ}\text{C} \cdot \text{일})$ 이상인 강원도 영월의 경우 3월 이후에도 동결심

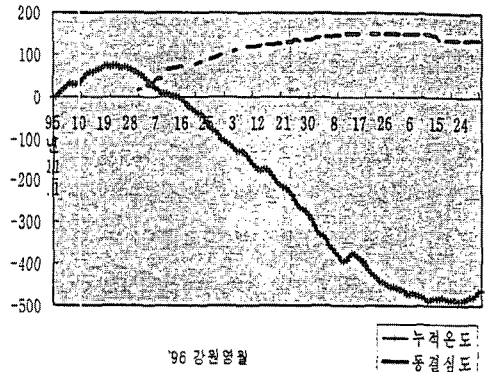


그림 5. 대기온도의 누적치에 따른 동결심도의 변화(강원 영월)

도가 100cm 이상을 보이고 있다. 따라서 강원도 산간지역의 경우 4월에도 동결작용이 계속적으로 되리라 예상된다. 1997년도 조사의 결론은 누적온도는 동결심도에 매우 큰 영향을 미치나 포장층의 조건과 특성을 감안하면 반드시 정비례하는 것은 아니지만 동결누적온도 곡선의 정점이 동결심도 곡선의 최고와 일치하는 것으로 판단했다.

표 3은 기상청(2002)과 최근의 한국토지공사(2001)의 자료로서 동절기 월평균 최저 기온과

최근 30년 간의 전국동결지수를 보여주고 있다. 최근 30년(1972년-2001년)동안의 국내의 평균동결지수는 250(°C·일)으로 강원도의 영동 해안 지역과 경상도 및 전라도 지역의 대부분이 평균지수를 이하이다.

또한 경기도와 충청 지역은 평균 지수 이상으로, 이는 추후 동결지수의 구분으로 지역을 분류하여 설계에 반영함이 효율적임을 시사한다. 따라서 12월에서 3월까지 동결을 고려하되 동결지수가 상대적으로 낮은 남부지방의 경우 현재대로,

중부 및 북부 경기 지방과 고지대의 경우 4월까지 연장하는 것이 타당하리라 판단된다.

그림6과 7은 1991년부터 2001년도까지 측정된 자료들 토대로 각각 동결지수와 동결깊이의 관계, 최대동결심도 곡선을 나타내고 있다 (김영진 외 2001). 강원도 산악지대의 경우 최대 동결심도가 150cm로, 경기도 북부 지역과 일부 충북과 경북의 산악지대의 경우 120cm를 보이고 있다. 반면 충남이남의 해안지역에서는 대체적으로 낮은 동결심도를 보이고 있다.

표 3. 동절기 월평균 최저 기온과 전국동결지수(기상청 2002, 성도용 외 2001)

지점	지반고 (m)	월평균 최저기온(°C)						1)1949-1978(30)		2)1972-2001(30)	
		11월	12월	1월	2월	3월	4월	전국동결지수		전국동결지수	
								동결지수 (°C*일)	동결기간 (일)	동결지수 (°C*일)	동결기간 (일)
평균	-	-	-	-	-	-	-	253	61	249	65
속초	25.8	4.6	-1	-3.8	-2.6	1.4	7.1	194	56	161	58
춘천	74	0	-6.3	-9.7	-7.3	-1.6	4.4	439	79	522	90
강릉	26	4.9	-0.5	-3.3	-2.3	1.6	7.6	154	60	149	57
서울	85.5	2.9	-3.4	-6.1	-4.1	1.1	7.3	391	61	363	79
인천	68.9	3.5	-2.9	-5.7	-3.8	1.1	7.1	356	61	334	77
수원	36.9	1.1	-5	-7.9	-5.8	-0.7	5.3	427	60	451	80
청주	59	1.1	-4.9	-7.4	-5.4	-0.4	5.7	332	60	394	78
대전	77.1	1.9	-3.9	-6.3	-4.5	0.2	6.3	328	60	302	67
추풍령	245.9	1.3	-4	-6.1	-4.7	-0.3	5.5	287	60	286	77
포항	5.6	5.6	-0.1	-2.4	-1.1	3	8.6	101	56	82	48
군산	26.3	4.6	-1.1	-3.6	-2.5	1.5	7.1	221	60	178	62
대구	57.8	3.7	-2	-4.1	-2.4	2.1	7.9	172	56	144	55
전주	51.2	3.3	-2.4	-4.8	-3.5	0.9	6.8	201	60	216	62
광주	70.9	4.2	-1.2	-3.3	-2.3	1.6	7.3	150	80	123	51
부산	69.2	7.6	1.8	-0.7	0.5	4.6	9.7	47	44	31	32

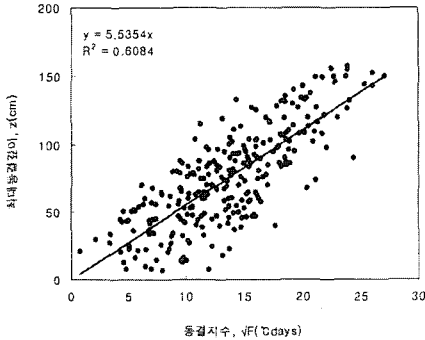


그림 6. 국내 동결지수와 동결깊이 상관관계 (김영진 외 2001).

특히 표 4를 통해서 살펴보면 경상도와 전라도의 경우 일부 산간지역을 제외하고는 대체적으로 동결심도가 낮은 것으로 측정되며 (60cm 이하), 실제로 많은 국도에 동상방지층이 설치되어 있지 않다 (건설교통부B 2000).

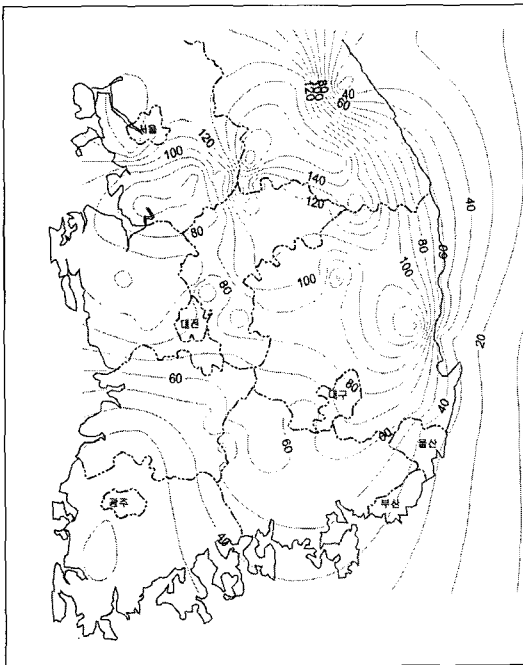


그림 7. 최대동결심곡선 (단위: cm, 김영진 외 2001)

한편 김영진 외 2인의 연구 (2001)에 따르면 일본도로협회에서 제시한 경험식 테라다 공식(식 1)을 이용하여 1991년부터 2001년도까지의 포장체 하부 동결심도 자료를 토대로 작성된 지역별 동결심도 추정정수 C값은 표 5와 같다.

$$Z = C \sqrt{F} \quad (1)$$

여기서,

C = 동결심도 추정정수,

Z = 추정된 동결심도 (cm), 그리고

F = 동결지수 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}$).

표6은 동결지수별로 분류한 추정정수 값으로 보다 실무에 적용하기 적합하다고 판단되며, 포장 형식과 재료별로 온도 전달을 등의 특성을 반영한 최소 포장 두께의 기준을 제시한다면 매우 유용한 자료가 될 수 있다.

상기 표 5와 6에서 제시된 동결심도 추정 정수는 연도별로 그 측정값이 변함으로 향후 일정 기준을 결정하여 사용하는 것이 바람직하며, 국내 자료의 면밀한 분석을 통하여 새로운 심도 예측 모형의 제시도 가능하다고 판단된다. 한편 97년도 보고서(한국건설기술연구원)에 의하면 실측 최대 동결심도가 100cm 이하인 경우는 기상자료를 통한 설계동결지수에 기초하여 추정된 동결심도보다 낮으며, 반대로 실측 최대 동결심도가 100cm 이상인 경우는 설계동결지수에 기초하여 추정된 동결심도보다 높은 것으로 보고되었다. 또한 겨울철 동결의 영향이 상대적으로 낮은 지역(동결지수 250 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{일}$) 이하)에서 측정된 동결심도 값들의 오차가 상대적으로 동결의 영향이

많은 지역에 비해 크다고 예상된다. 결국 현재 적용 가능한 동결심도 예측식의 적용범위가 있음을 나타내는 것으로 적절한 적용기준을 지역과 동결지수별로 제시함으로써 보다 현실적인 동결심도 추정이 가능하다고 판단된다.

표 4. 전국일반국도의 최대동결심도 현황(김영진 외 2001)

매설지점	최대동결심도,cm (1991년~2001년)	비 고	매설지점	최대동결심도,cm (1991년~2001년)	비 고
용인군 수지면	133.0	'96	공주시 우성면	80.0	'01
김포군 고촌면	88.0	'00, '01	아산시 음봉면	101.0	'01
여주군 강천면	148.0	'96	당진군 당진읍	103.5	'01
화성군 팔탄면	65.0	'97	완주군 상관면	47.8	'01
안성시 공도면	81.0	'01	군산시 성산면	45.6	'01
남양주군 조안면	104.0	'97	장수군 장수읍	62.5	'01
가평군 상면	115.5	'95	임실군 오수면	60.1	'01
파주시 문산읍	136.0	'97	무주군 무주읍	73.0	'01
연천읍 신서면	126.5	'97	장성군 북하면	25.5	'01
양평군 옥천면	89.0	'01	함평군 함평읍	20.3	'01
원주시 소초면	101.9	'96	진도군 임회면	18.7	'01
춘천시 동산면	123.0	'96	구례군 산동면	39.0	'01
홍천군 두촌면	154.5	'96	순천시 서면	52.5	'01
화천군 화천읍	133.0	'97	구례군 용방면	37.0	'01
양구군 양구읍	135.0	'00	구미시 장천면	86.0	'01
양구군 남면	131.0	'98	김천시 구성면	84.0	'01
횡성군 우천면	130.0	'01	경산시 남천면	73.0	'97
평창군 도암면	155.5	'95	상주시 화서면	87.0	'01
강릉시 왕산면	126.0	'96	포항시 흥해읍	36.5	'01
양양군 서면	24.1	'96	청송군 현동면	134.5	'01
홍천군 내면	157.5	'97	경주시 건천읍	60.0	'01
정선군 정선읍	137.5	'97	울진군 기성면	51.5	'01
영월군 상동읍	151.0	'95	영주시 풍기읍	59.0	'97, '01
삼척시 신기면	67.0	'96	안동시 예안면	98.5	'97
영월군 남면	119.0	'01	영주시 안경면	86.0	'01
충주시 소태면	127.0	'96	영양군 일월면	86.5	'01
괴산군 장연면	109.0	'96	함천군 함천읍	64.3	'01
단양군 단성면	100.2	'96	산청군 단성면	66.4	'01
음성군 음성읍	103.5	'97	함천군 묘산면	49.3	'01
옥천군 안내면	102.0	'01	고성군 고성읍	51.6	'01
진천군 진천읍	78.0	'01	울산시 상북면	39.0	'01
청원군 가덕면	81.0	'97	북제주군 애월읍	33.4	'01
보은군 내속리면	82.0	'01	북제주군 조천읍	23.4	'01
부여군 부여읍	93.4	'96	서울시 서초구	67.0	'01
청양군 대치면	90.6	'96	고양시 일산구	97.5	'01
천안시 광덕면	58.0	'01			

표 5. 지역별 동결심도 추정정수 C값

구 분	1991~2001년 결과
강원도	5.98
경기도	5.56
충청북도	5.51
경상북도	5.33
충청남도	5.28
전라북도	3.39

표 6. 동결지수별 동결심도 추정정수 C값

구 분	동결지수 F(°C · day)					
	0~100	100~200	200~300	300~400	400~500	500 이상
정수 C	5.23	5.34	5.43	5.58	5.73	5.97

5. 결 언

앞에서 살펴본 바와 같이 국내 동결에 대한 특성이 아직 충분히 정리되어 있지 않으며 이에 대한 적절한 설계 방식도 논의가 필요한 실정이다. 그러나 우선적으로 검토하고 시작해야 할 일은 과연 동결이 지역별로 노선별로 얼마나 포장의 파손을 야기시키며 포장의 공용성에 영향을 미치는가 하는 것이다. 이에 대한 어느 정도의 결론을 토대로 현재 사용중인 방법과 다른 대안간에 비교가 이루어 질 수 있으리라 사료된다. 또한 기온의 변화에 대한 지속적인 동결 자료의 축적과 다각도의 동결을 고려한 설계 방식 검토가 요구된다. 예로 기후 지역 (climate zone)을 동결 지수로 간단하게 분류하여 최소 포장 두께를 지정하거나 하는 정도로 할 수도 있다. 또한 노상이나 기층의 포장 재료에 대한 동결 및 기온에 대한 정량적인 분석 자료가 축적이 되어야겠다.

도로 및 공항 포장에서 동결 및 융해에 대한 영향은 매우 중요하여 이제는 국내의 경우 융기보다는 해빙시 발생하는 포장내부의 과잉공극수압의 영향으로 포장의 균열이나 포트홀을 일으키는 원인을 제공하는 문제나 포장 하부의 지지력에 대한 논의가 필요하다고 하겠다. 물론 설계자와 기술자들의 동결에 포장의 설계나 포장 공용성에 대한 관심도 매우 중요하다.

마지막으로 현재 기상 변화에 대한 예측의 신뢰도를 높이기 위해서는 수문학 분야에서 많이 활용하는 홍수 주기와 같은 개념으로 동결심도나 지수에도 적용할 수 있는 동결 주기 활용이 요구된다. 따라서 이제는 국내에서 활용중인 현재의 획일적인 동결을 고려한 설계 방법에서 벗어나 기후 패턴에 기초하여 보다 현실적이고 효율적인 설계 방식의 선택이 이루어져야 한다.

참고문헌

1. 건설교통부 A. 도로설계편람, 2000
2. 건설교통부 B. 2000년 도로포장관리시스템, 도로대장, 2000
3. 기상청, 기후예측과, 2002
4. 김영진, 홍승서, 김현민, 동절기 지반의 동결심도 장기조사, 한국건설기술연구원, 2001.
5. 성도용, 김석명, 문봉현, 강제홍, "최근 기온변화 분석을 통한 단지내 도로포장설계 개선방안", 대한토목학회지, 제49권 12호, pp 54~59, 2001
6. 한국건설기술연구원, '96 국토유지보수조사 연구보고서, 1997
7. Forsyth, R. A., "Pavement Structural Design Practice", Synthesis of Highway Practice No. 189, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington D.C., 1993
8. Highway Research Board, Survey of Practice on Pavement Design for Frost Conditions, Highway Research Record No. 33, 1963