

간행물 등록 번호

11-1611000-002391-01

도로 동상방지층 설계지침

2012. 8.



국토해양부
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs



지침 제정에 따른 경과 조치

이 지침은 발간시점(2012. 8)부터 적용할 수 있으며, 이미 시행중인 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우에 적용할 수 있습니다.

다만, 본 지침 제4장 구조적 능력을 고려한 포장두께 조정방법은 ‘2011 도로포장 구조설계 요령’ 개정 및 도로포장 설계 프로그램 업그레이드 완료 이후 적용이 가능합니다.

머 리 말

우리나라는 전 국토의 70%가 산지로 구성되어 있으며, 겨울철 결빙기간이 많은 지역적인 특성 상 동결융해로 인한 피해를 줄이고 도로 포장 설계 시 노상의 동결을 방지하기 위하여 도로의 하부에 설치되는 노상층에 동상방지층을 별도로 시공토록 하고 있습니다.

하지만 최근 기후온난화에 따라 동상의 피해가 감소되는 추세를 반영하여 도로 동상방지층 설치에 따른 예산 절감 필요성이 대두됨에 따라 우리부에서는 2006년 흙쌓기 높이 2m 이상 구간에 대하여는 노상층에 별도 설치하는 동상방지층을 생략하도록 하여 도로건설 예산 절감에 기여한 바 있으며, 흙쌓기 높이 2m 이상 구간 이외에도 현장 검증을 통해 현지 지역여건에 적합한 동상방지층이 설계될 수 있도록 R&D 연구용역을 통해 “도로 동상방지층 설계 지침”을 제정하게 되었습니다.

본 지침에서는 현장 계측 데이터를 기반으로 한국형 동결깊이 예측식을 제안하였으며, 지하수 및 노상토 조건을 고려한 동상방지층의 설치여부 판정기준 및 동상방지층 재료 기준을 제시하여 동상방지층을 설계함에 있어 과다하게 설치되는 것을 방지토록 조정하였습니다. 본 지침을 활용하는 과정에서 추가적으로 보완이 필요한 부분에 대해서는 지속적으로 보완해 나갈 계획이니 여러분의 많은 조언을 부탁드립니다.

그간 바쁘신 중에도 관심과 애정을 가지고 본 지침 제정 작업에 참여하여 주신 도로 동상방지층 R&D 연구단 연구진, 한국건설교통기술평가원 관계자 및 관계 공무원 여러분의 노고에 깊은 감사의 마음을 표하는 바입니다.

2012년 8월

국토해양부 도로정책관 이 승 호





목 차

1. 총 칙

1. 총 칙	3
1.1 정의	3
1.2 용어의 정의	4

2. 도로 동상방지층 단면 설계

2. 도로 동상방지층 단면설계	9
2.1 일반 사항	9
2.2 설계동결지수	10
2.3 설계동결깊이	15

3. 도로 동상방지층 설치 여부 판정기준

3. 도로 동상방지층 설치 여부 판정기준	19
3.1 일반 사항	19
3.2 흙쌓기 높이를 고려한 설치기준	25
3.3 지하수위를 고려한 설치기준	27
3.4 노상토 특성을 고려한 설치기준	29



4. 구조적 능력을 고려한 동상방지층 결정

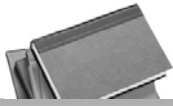
4. 구조적 능력을 고려한 동상방지층 결정	33
-------------------------------	----

5. 동상방지층 재료

5. 동상방지층 재료	37
5.1 일반사항	37
5.2 동상방지층 재료의 품질기준	38

부 록

A.1 동결깊이를 고려한 동상방지층 설치여부 판정	43
A.2 흙쌓기 높이를 고려한 동상방지층 설치구간 판정 및 지반조사 계획	48
A.3 지하수위를 고려한 동상방지층 설치구간 판정	53
A.4 노상토의 특성을 고려한 동상방지층 설치구간 판정	59
A.5 구조적 능력을 고려한 동상방지층 결정	61
A.6 동상방지층 설계결과 요약	66



총

칙

1

1. 총 칙

1.1 정의

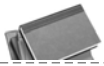
본 지침은 도로의 동상방지층 설치기준을 규정한 것으로, 흙쌓기 및 땅깍지구간 모두를 포함한다. 본 지침에 규정되어 있지 않은 사항은 「도로공사 표준시방서」 및 「도로설계기준」에 따른다.

【해 설】

도로의 동상은 수분, 토질, 기온 특성 모두가 동상이 발생할 조건을 충족시킬 경우에 발생한다. 따라서 도로 동상방지층 설치기준은 이러한 모든 조건을 고려하여 결정되어야 한다.

본 지침은 「도로법」 8조에서 정한 각종 도로에 적용되는 동상방지층 설치기준에 대한 것이다. 다만, 경계조건이 토공구간과 매우 상이한 구조물 접속부, 구조물 상부 및 자전거도로, 보도 등은 본 지침을 적용하지 않으며, 암반구간은 「암반구간 포장설계 지침」을 따른다.

입상보조기층을 설치하지 않는 동상방지층의 경우 동상방지기능 이외에 배수기능, 필터기능, 요철정형기능을 동시에 수행하게 된다. 본 지침은 동상방지기능에 국한한 동상방지층 설치기준에 대한 것으로 시멘트 콘크리트 포장에 있어서 동상방지층을 생략할 경우에는, 배수 및 시공성을 위하여 필터층을 설치하여야 한다. 필터층은 노상으로 침투된 용출수의 배수 및 노상의 요철에 따른 조정층의 역할을 한다.



1.2 용어의 정의

본 지침에 사용된 다음의 용어는 문맥상으로 보아 다른 의미로 해석되지 않는 한 다음과 같다.

●동상방지층

노상토에 동상우려가 있는 경우 보조기층에서 노상의 동결 깊이까지 동상에 민감하지 않은 양질의 재료로 치환하여 노상의 동결을 막고자 시공하는 층을 말한다.

●노상

포장을 지지하고 있는 지반 중에서 포장의 밑면으로부터 약 1m 깊이부분을 말하며, 노체 위에 축조되는 것으로 노면의 교통하중을 널리 분산시켜 노체에 하중의 영향을 작게 하고 안전하게 전달하는 역할을 한다.

●보조기층

기층과 노상 사이에 설치하며 기층에 가해지는 교통 하중을 지지하는 역할을 하는 층을 말한다. 일반적으로 보조기층은 지지력이 큰 양질의 골재를 두껍게 사용하는 구조층이다.

●필터층

침투된 지하수의 신속한 배수를 위하여 설치되는 층을 말하며, 입상재료나 안정처리 층으로 할 수 있다.

●기층

표층을 지지하고 보조기층의 요철을 보정하며, 교통하중 및 충격을 적당히 분산, 경감하여 이것을 보조기층 및 노상에 전달하는 역할을 하는 포장층이다.

●암반요철 조정층

암반의 요철을 보정하기 위하여 일정한 두께로 상면 정형층을 형성하는 층으로써, 하중에 의한 암반 반사응력을 흡수한다.

● Δ BDI(%) (동상방지층 구조적 평가 모형, Δ Base Damage Index(%))

포장 하부의 처짐량 비를 이용하여 전체 포장체에서의 동상방지층 유무에 따른 구조적 효과의 비를 나타낸다.

- 0.08mm 통과율

입도분석시 체의 크기가 $74\mu\text{m}$ 인 표준체를 통과하는 흙의 중량비율을 나타낸다.

- 동상민감도

포장 하부의 노상토가 겨울철 동결과정에서 부피팽창에 의한 융기 가능성을 나타내는 정성적 지표이다.

- 비동상성

동상민감도가 상대적으로 작은 경향을 의미한다.

- 동상성

동상민감도가 상대적으로 큰 경향을 의미한다.

- 동상수위높이차

최대동결깊이로부터 동결기 동결이 우려되는 기간에 예상되는 지하수위까지의 깊이 차이를 의미한다.

- 조립토

조립질(입경 $74\mu\text{m}$ 이상)이 50% 이상인 흙을 말한다.

- 입도분석

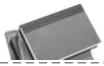
골재 또는 흙의 입도를 조사하는 시험으로 입경 $75\mu\text{m}$ 이상은 체분석, 그 이하는 침강분석에 의해 수행하는 것이 일반적이다.

- 흙쌓기

토공사에서 흙을 쌓아 올리는 것으로 다른 곳의 흙을 운반하여 지반 위에 쌓는 부분이다.

- 땅깎기

토공사에서 흙을 깎아 기준면을 형성하는 것이다.



- 노체

도로의 구조상 흙쌓기 단면을 구분할 때 노상의 아래 부분으로 원지반까지의 흙쌓기부를 의미한다.

- 동결지수

동결 계절 동안의 누가 온도·일에 대한 시간 곡선상의 최고점과 최저점의 차이로 나타낸다.

- 설계동결지수

설계 시 사용되는 동결지수이다.

- 동결기간

동결 계절 동안의 누가 온도·일에 대한 시간 곡선상의 최고점과 최저점을 보이는 기간이다.

- 동결깊이

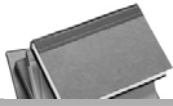
도로의 노면에서 지중의 얼음이 결정되는 가장 깊은 곳까지의 깊이이다.

- 최대동결깊이

설계기간 동안 어느 장소에 대하여 연중 도로의 노면에서 지중의 얼음이 결정되는 가장 깊은 곳까지의 최대 깊이이다.

- 설계동결깊이

설계에 사용되는 동결깊이이다.



도로 동상방지층 단면 설계

2



2. 도로 동상방지층 단면설계

2.1 일반 사항

동상방지층이 필요한 경우에는 설계동결깊이와 구조설계된 포장 두께와의 차이만큼 동상방지층을 설계한다.

【해 설】

동상방지층을 설치할 경우에는 설계동결깊이가 구조 설계된 포장 두께보다 클 경우 그 차이만큼 동상방지층을 설치한다. 설계동결깊이는 도로 동상방지층 연구단과 한국건설기술연구원에서 계측한 동결깊이 자료를 근거로 개발된 한국형 동결깊이 예측식을 이용하여 본 지침 2.3에 따라 산정한다.

시멘트 콘크리트 포장에서 설계동결깊이보다 구조설계된 포장단면이 클 경우 동상방지층을 생략하여야 하나, 배수 및 시공성 등을 고려하여 설계동결깊이와 상관없이 필터층을 일정 두께로 설치하여야 한다. 이때 SB-1 재료 사용 시 15cm, SB-2 재료 사용 시 10cm를 설치하며, 재료별 경제성 검토 후 적용한다.



2.2 설계동결지수

설계동결지수의 산정은 20년간의 기상자료에서 추위가 가장 심하였던 2년간(즉 동결지수의 최대 2년치)의 평균동결지수로 정한다. 만일 20년간의 기상자료가 없으면 최근 10년간의 최대동결지수를 동결지수로 산정한다.

【해설】

동결지수는 포장내의 동결깊이를 산정하기 위한 대표적 척도로서, 포장 구조와 노상토를 동결시키는 대기온도의 강도와 지속기간의 누가영향으로 표시된다. 동결지수의 단위는 온도·일(℃·일)이며, 동결 계절 동안의 누가 온도·일에 대한 시간 곡선상의 최고점과 최저점의 차이로 나타낸다.

설계 구간의 설계동결지수 산정은 대상 지역 인근 측후소에서 관측한 월 평균 대기온도의 크기와 지속기간에 대한 20년간의 기상자료에서 추위가 가장 심하였던 2년간(즉 동결지수의 최대 2년치)의 평균동결지수로 정한다. 만일 20년간의 기상자료가 없으면 최근 10년간의 최대동결지수를 설계동결지수로 산정한다.

설계구간에 표 2.1의 측후소가 있을 경우 표 2.1의 동결지수 및 동결기간을 이용하여 설계동결지수를 산정하며, 설계구간에 측후소가 존재하지 않으면 표 2.2의 좌표별 동결지수를 이용하고 동결기간은 가까운 측후소 3개의 평균값 또는 가장 가까운 측후소의 값을 이용하여 설계동결지수를 산정한다.

표 2.1에서 얻어지는 동결지수 값은 측후소 위치에서 관측한 값을 토대로 한 것이며, 표 2.2의 동결지수는 지반고 100m 기준의 값이므로 설계노선의 위치 및 표고에 대한 보정은 (식 2.1) 을 이용하여 계산한다.

$$\text{수정동결지수(℃·일)} = \text{동결지수} < \text{표 2.1 및 표 2.2} > + 0.5 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차}(m)}{100}$$

(식 2.1)

$$\text{표고차} = \text{설계노선 포장계획면 최고표고}(m) - \text{측후소 지반고}(m)$$



표 2.1 20년 동결지수

지역	측후소 지반고(m)	동결지수 (℃·일)	동결기간 (일)	지역	측후소 지반고(m)	동결지수 (℃·일)	동결기간 (일)
속초	17.6	102.1	46.5	합천	32.1	109.8	49.0
대관령	842.0	697.0	121.5	거창	224.9	188.7	67.5
춘천	74.0	418.0	73.5	영천	91.3	127.3	39.0
강릉	26.0	85.2	31.0	구미	45.5	132.0	57.5
서울	85.5	278.9	68.0	의성	73.0	331.0	87.5
인천	68.9	203.4	55.5	영덕	40.5	72.6	29.5
원주	149.8	340.9	84.5	문경	172.1	212.5	69.0
울릉도	221.1	117.1	23.0	영주	208.0	246.8	79.5
수원	36.9	272.4	66.0	성산	17.5	0	0
충주	69.4	350.4	88.5	고흥	60.0	49.1	25.5
서산	26.4	195.7	55.0	해남	22.1	58.8	31.0
울진	49.5	65.3	28.5	장흥	43.0	63.6	33.5
청주	59.0	201.6	62.5	순천	74.0	117.4	40.5
대전	67.2	184.2	54.0	남원	89.6	224.7	66.0
추풍령	245.9	210.5	69.0	정읍	40.5	138.7	61.0
포항	2.5	57.6	27.0	임실	244.0	318.4	75.0
군산	26.3	139.0	61.0	부안	7.0	142.6	61.5
대구	57.8	72.0	30.5	금산	170.7	283.7	74.5
전주	51.2	95.8	46.0	부여	16.0	204.0	66.0
울산	31.5	59.5	27.0	보령	15.1	141.6	61.5
광주	73.9	82.5	38.0	아산	24.5	248.1	66.5
부산	69.2	53.2	5.0	보은	170.0	366.0	87.5
통영	25.0	43.2	19.0	제천	264.4	489.9	89.5
목포	36.5	51.6	20.0	홍천	141.0	464.3	89.0
여수	67.0	52.5	4.0	인제	199.7	475.3	96.5
완도	37.5	42.2	26.0	이천	68.5	356.7	69.5
제주	22.0	0	0	양평	49.0	381.5	87.0
남해	49.8	45.3	20.0	강화	46.4	355.2	68.0
거제	41.5	39.3	4.0	진주	21.5	83.2	39.0
산청	141.8	72.3	31.5	서귀포	51.9	0	0
밀양	12.5	93.2	38.5	철원	154.9	522.6	81.0
동해	40.0	67.8	42.0	봉화	320.0	401.9	91.0
안동	140.0	203.4	60.5	장수	406.0	337.4	87.0
태백	713.0	501.5	111.0				

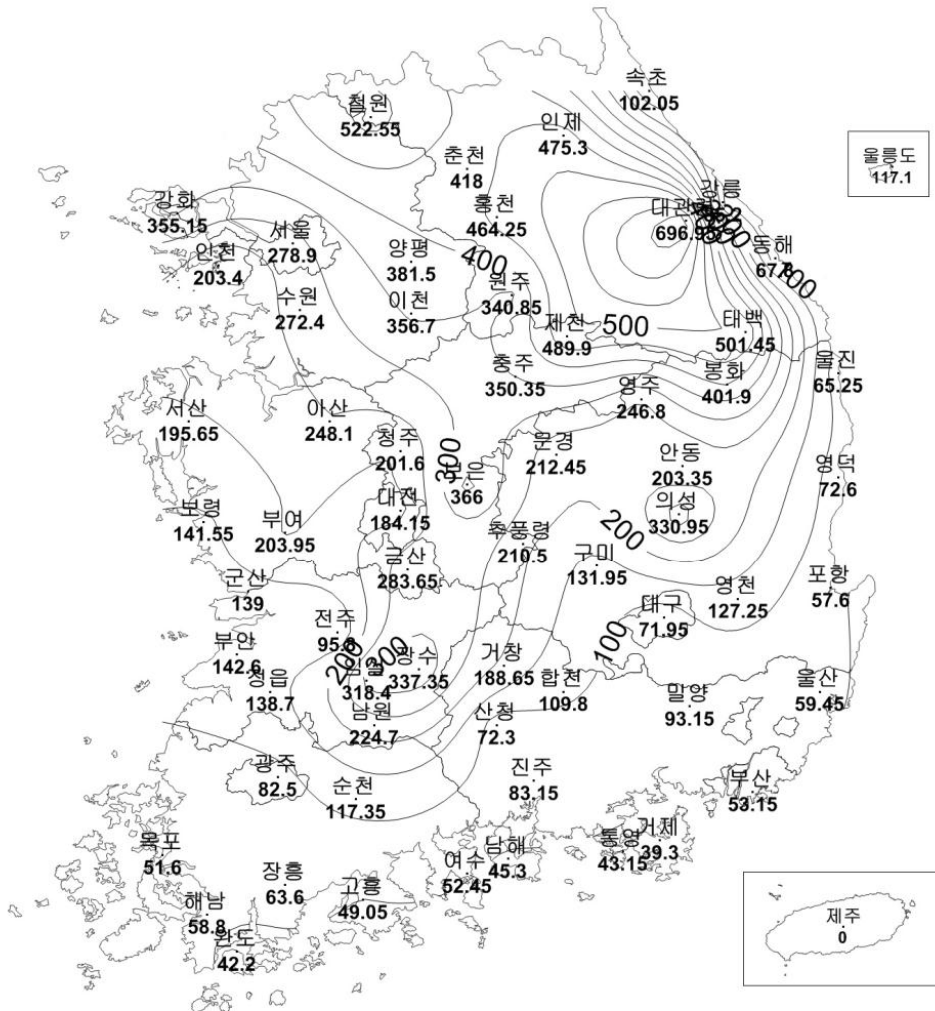
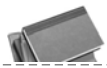


그림 2.1 20년 동결지수선도

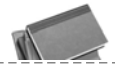


표 2.2 좌표별 동결지수

(단위 : °C·일)

북 위 동 경		34			35					36	
		0.4	0.6	0.8	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.0	0.2
126	0.4	89	84	61	99	133	153	165	174	181	184
	0.6	67	74	94	113	132	152	166	172	175	181
	0.8	67	84	96	113	107	151	161	171	166	203
127	0.0	92	85	96	118	121	159	169	160	180	214
	0.2	92	65	102	125	147	197	223	127	182	207
	0.4	96	81	104	128	157	207	212	193	219	224
	0.6	101	88	87	118	141	160	188	189	210	222
	0.8	100	78	66	102	117	89	147	167	188	203
128	0.0	103	87	66	99	103	111	140	157	175	162
	0.2	105	94	89	101	113	127	130	153	165	174
	0.4	104	87	55	82	112	128	136	142	156	172
	0.6	105	87	55	67	107	119	126	103	128	217
	0.8	109	97	82	85	100	114	121	129	144	208
129	0.0	115	107	96	70	73	111	122	132	133	166
	0.2	121	115	106	92	94	100	94	119	117	138
	0.4	127	122	117	113	110	107	84	108	74	116

주) 표고 100m 기준

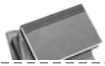


표 2.2 좌표별 동결지수(계속)

(단위 : °C·일)

북 위 동 경		36			37					38	
		0.4	0.6	0.8	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.0	0.2
126	0.4	189	210	218	232	247	262	334	347	301	287
	0.6	182	212	221	238	250	225	266	310	299	294
	0.8	210	222	236	252	268	265	276	291	303	309
127	0.0	219	236	257	263	288	286	285	303	333	349
	0.2	217	237	262	269	292	305	312	330	403	445
	0.4	199	218	244	282	339	358	356	350	406	444
	0.6	243	249	256	288	332	353	361	376	383	366
	0.8	271	272	274	309	313	327	392	402	391	348
128	0.0	208	222	274	347	324	321	361	370	368	346
	0.2	201	198	243	315	393	309	306	324	407	347
	0.4	208	217	223	251	283	271	264	271	279	215
	0.6	273	209	214	225	234	232	232	225	213	139
	0.8	252	206	233	248	204	198	204	152	188	189
129	0.0	189	197	226	231	164	148	139	139	177	195
	0.2	148	153	168	160	163	127	123	162	181	194
	0.4	108	99	127	74	141	154	158	171	184	193

주) 표고 100m 기준



2.3 설계동결깊이

최대동결깊이는 다음 한국형 동결깊이 예측식에 의해 산정한다.

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

Z : 최대동결깊이(mm)

F : 설계동결지수(°C·일)

C : 동결지수에 따른 보정상수

설계동결깊이는 노상동결관입허용법에 따라 최대동결깊이의 75%를 사용한다.

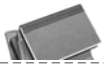
【해 설】

한국형 동결깊이 예측식은 도로 동상방지층 연구단과 한국건설기술연구원에서 계측한 동결깊이 자료를 근거로 개발된 식이다.

도로포장에서 동상방지층을 설치하는 경우에는 완전방지법, 노상 동결관입 허용법, 감소 노상강도법 등 3가지 방법을 사용한다. 완전방지법은 동결작용 방지를 위해 충분한 두께의 비동결층을 설치하는 것으로 노상의 동결을 일부 허용하는 노상동결관입허용법 및 감소 노상강도법에 비해 비경제적이므로 특수한 경우에만 사용한다. 노상동결관입허용법은 노상상태가 수평방향으로 심하게 변하지 않거나 흙이 균질한 경우에 적용되는 설계방법으로 동결깊이가 노상으로 얼마쯤 관입된다 하더라도, 동상으로 인한 용기량이 포장파괴를 일으킬 만한 양이 아니라면 노상의 동결을 어느 정도 허용하는 것이 경제적이라는 개념이다. 따라서 본 지침에서는 설계동결깊이 산정은 노상동결관입허용법으로 결정한다.

포장 설계에서 최대동결깊이 산정은 (식 2.2)를 사용한다. 포장설계에서 설계동결깊이는 (식 2.2)로 구한 최대동결깊이의 75%로 한다.

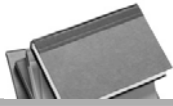
$$Z = C \sqrt{F} \quad (\text{식 2.2})$$



- (1) 최대 동결관입 깊이 (Z) : 식(2.2)에서 Z는 도로 표면으로부터 최대동결깊이를 나타내며 단위는 mm이다.
- (2) 설계동결지수 (F) : 식(2.2)에서 F는 설계동결지수이며 단위는 °C·일 이다.
- (3) 동결지수에 따른 보정상수(C) : 식(2.2)에서 C는 동결지수에 따른 보정상수로 C값은 표 2.3과 같다.

표 2.3 동결지수에 따른 보정상수(C) 값

설계동결지수(F) (°C·일)	0이상 100미만	100이상 200미만	200이상 300미만	300이상 400미만	400이상 500미만	500이상 600미만
동결지수에 따른 보정 상수(C) 값	27.3	30.2	35.6	42.1	48.1	53.0



도로 동상방지층 설치 여부 판정기준

3

3. 도로 동상방지층 설치 여부 판정기준

3.1 일반 사항

도로의 동상은 수분, 노상토, 기온 특성 모두가 동상이 발생할 조건을 충족시킬 경우에 발생한다. 설계동결깊이가 포장두께보다 큰 경우에는 그 차이만큼 동상방지층을 설치한다.

【해 설】

흙과 같이 물을 함유하고 있는 다공성 물질이 낮은 온도에 노출되어 그 일부가 동결할 때 이미 동결된 부분의 흙은 아직 동결되지 않은 부분으로부터 물을 빨아들인다. 동결의 진행과 물의 공급이 일치하면 예상 밖의 큰 체적팽창이 일어난다. 이때 동결된 부분의 토립자 사이의 평균적인 간극은 얼기 전에 비하여 확장된다. 또한 확장된 토립자 사이의 간극에 흡입된 물은 동결된 얼음으로 남아 있게 된다. 이러한 현상을 동상이라고 한다.

노상에 동상이 발생하면 동결 시 히빙(Heaving)에 의한 포장 융기 및 융해 시 포장 지지력이 약화되어 포장의 파손을 야기시킨다. 따라서 설계동결깊이가 포장두께 보다 큰 경우에는 그 차이만큼 동상방지층을 설치하여 동상 피해를 방지하여야 한다.

동상방지층은 도로에서 노상의 동결에 따른 동상피해를 억제하기 위하여 동결깊이 만큼 보조기층 아래 노상토의 동결깊이까지 노상토를 동상방지 재료로 치환되는 층을 말한다. 따라서 노상에서 동상피해 가능성이 없는 경우에는 동상방지층 설치를 생략한다.

그림 3.1에 나타난 동상 메커니즘과 같이, 노상토의 동상은 충분한 수분의 공급, 동상에 민감한 노상토, 노상토의 동결을 유발하는 온도조건 모두가 충족되는 경우에 발생하며, 상기의 조건 중 하나의 조건이라도 충족되지 않는 경우에는 노상토의 동상은 발생하지 않는다.

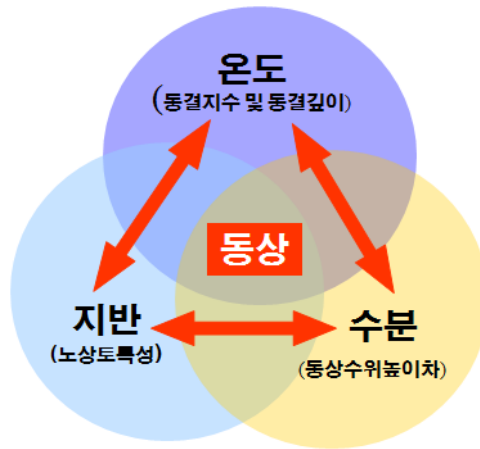
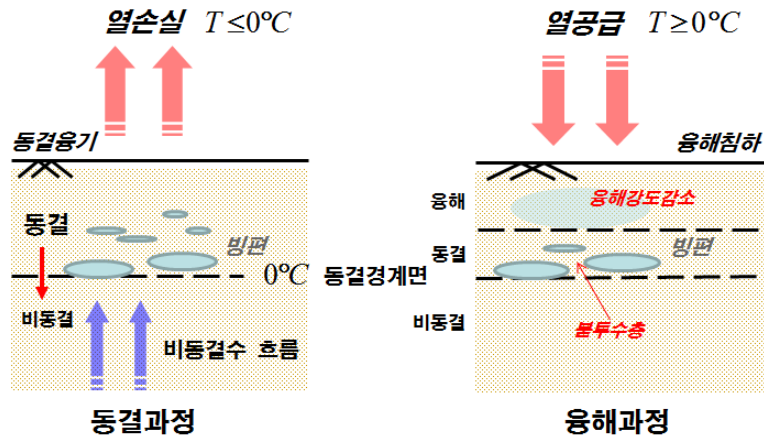
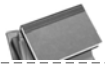
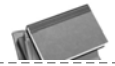


그림 3.1 동상 메커니즘 설명도

동상방지층 설치 필요성 여부는 (1)동결깊이, (2)흙쌓기 높이, (3)지하수위, (4)노상토의 특성 순으로 검토를 수행하며, 각 검토 단계에서 동상방지층이 불필요한 것으로 판정되는 경우에는 동상방지층을 생략한다.

동상방지층 설계흐름은 그림 3.2와 같다. 동상방지층 설계흐름은 한국형 포장설계법을 적용하여 포장단면을 결정하는 부분, 동상방지층의 설치 필요성을 판정하는 부분, 동상방지층을 설치하는 경우 동상방지층의 구조적 능력을 고려한 포장단면 조정으로 나누어진다. 세부적인 동상방지층 설계흐름은 다음과 같다.



- ① 한국형 포장설계법을 적용하여 구조설계에 의한 포장두께를 결정한다.
- ② 본 지침에서 제안하는 방법으로 설계동결깊이를 산정한다.
- ③ 포장두께가 설계동결깊이보다 클 경우 동상방지층을 생략하고 ① 단계에서 결정된 포장단면을 적용하고, 설계를 종료한다. 만일 포장두께가 설계동결깊이보다 작을 경우에는 동상방지층 두께를 결정하고 다음 단계로 넘어간다.

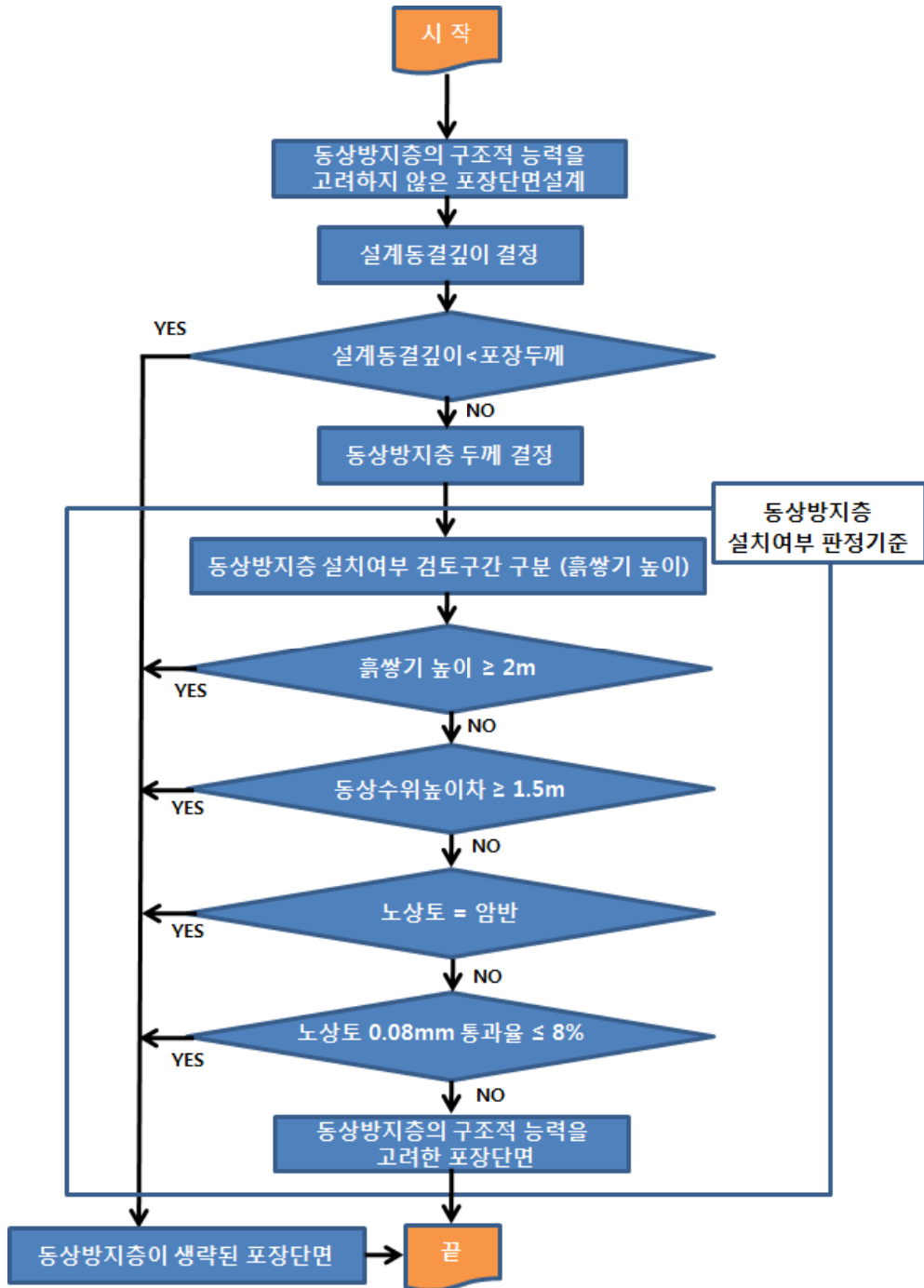
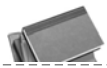
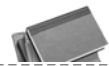


그림 3.2 동상방지층 설계 흐름도



- ④ 다음은 설계구간에서 동상방지층을 적용하는 구간과 생략하는 구간을 결정하는 것이다. 설계대상 도로의 종평면도를 이용하여 토공구간의 흙쌓기 높이를 결정한다.
- ⑤ 흙쌓기 높이 2m 이상의 구간과 2m 미만 구간을 구분하여 결정한다. 흙쌓기 높이 2m 이상의 구간에 대해서는 동상방지층을 생략하고 ① 단계에서 결정된 포장단면을 적용한다. 흙쌓기 높이 2m 미만인 구간에 대해서는 다음 단계로 넘어간다.
- ⑥ 흙쌓기 높이 2m 미만의 구간은 동상수위높이차를 결정한다. 동상수위높이차가 1.5m 이상인 경우에는 동상방지층을 생략하고 ① 단계에서 결정된 포장단면을 적용한다. 그렇지 않은 경우에는 다음 단계로 넘어간다.
- ⑦ 노상토가 암반인지 토사인지를 결정한다. 노상토가 암반인 경우에는 동상방지층을 생략하고 ① 단계에서 결정된 포장단면을 적용한다. 그렇지 않은 경우에는 다음 단계로 넘어간다.
- ⑧ 노상토의 0.08mm 통과율을 결정한다. 0.08mm 통과율이 8% 이하인 경우에는 동상방지층을 생략하고 ① 단계에서 결정된 포장단면을 적용한다. 만일 0.08mm 통과율이 8%를 초과하는 경우에는 동상방지층을 설치한다.
- ⑨ 동상방지층을 설치하는 경우에는 본 지침의 순서대로 동상방지층의 구조적 능력을 고려하여 포장단면을 결정한다.

각각의 동상방지층 설치여부 판정 단계(⑤, ⑥, ⑦, ⑧)에서 하나의 조건이라도 동상방지층 생략 조건을 만족하면 동상방지층을 생략하여도 되며, 동상방지층을 생략하는 구간에 대해서는 ① 단계에서 결정된 포장단면을 적용한다. 동상방지층을 설치해야 하는 구간에 대해서는 ⑨ 단계에서 결정된 포장단면을 적용한다. 판정순서는 설계자의 판단에 의해 순서를 변경할 수 있다.

⑥~⑧ 단계의 지하수위 및 노상토에 의한 동상방지층 설치유무 판정 시, 검토 구간은 최소 100m이상으로 하며 아래와 같이 구간을 선정한다.

지하수 및 노상토 조사 구간은 흙쌓기 높이가 2m 미만인 구간이 연속될 경우 300~500m를 하나의 검토구간으로 한다.

흙쌓기 높이 2m미만인 구간이 100m 미만의 짧은 구간으로 불연속적으로 빈번한 경우에는



300~500m를 하나의 구간으로 보고 지하수위 및 노상토 조사를 실시한다.

하부지반이 동상 및 지지력 측면에서 불량하고 동상수위높이차가 1.5m 이하인 경우에는 동상방지층을 설치하고 지하배수시설을 강화한다. 노상면으로 용수가 발생하는 구간은 동해방지 및 포장체의 수분영향에 의한 지지력 저하를 억제하기 위하여 동상방지층 및 지하배수시설을 설치한다. 동상방지층이 동해를 방지할 목적으로 설치되는 구간은 지하배수시설의 매립깊이를 최소 0.6m 이상으로 하되 가급적 0.8m 이상이 되도록 한다.

노상이 동상에 민감한 토질이고, 통과하중의 반복작용으로 지하수위가 상승(모세관상승)하여 노상이 연약화되어 지지력이 저하될 우려가 있는 경우, 또는 동상의 반복작용으로 지지력이 약해져 동해를 받을 가능성이 있는 경우에는 동상방지층을 설치하여야 한다.

땅깍기부 노상면이 지하수위 영향을 받는 경우 일반적으로 노상토를 치환하여 유해요인을 제거하여야 한다. 그러나 땅깍기부 노상면이 일정 구간 연속적으로 형성되어 있거나, 불량 지반이 빈번하게 나타나 치환으로 인한 시공의 조잡성 그리고 동상방지층을 두는 것이 유효하다고 판단되는 경우에는 해당 구간 전체에 동상방지층을 일괄적으로 설치할 수 있다. 이 경우 최종 도로면은 요철을 정형하여 반드시 횡단배수가 가능한 경사를 두어야하며 노상면에 물고임 현상은 반드시 제거하여야 한다.

확장구간 및 성토구간 등에서 동상방지층의 생략에 따라 포장단면이 서로 다르게 적용되는 경우, 원활한 횡단배수를 위하여 접속부에 지하배수시설을 설치한다.



3.2 흙쌓기 높이를 고려한 설치기준

흙쌓기 높이가 노상 최종면을 기준으로 2m 이상인 흙쌓기 구간에서 노상토의 품질기준을 만족할 경우에는 동상방지층을 생략한다.

【해 설】

지하수위가 매우 낮아 노상으로의 수분공급이 억제된 경우에는 동상방지층을 생략한다. 흙쌓기 높이가 2m 이상인 경우에는 노상으로의 모관상승에 의한 수분공급이 억제되기 때문에 동상방지층을 생략하는 것이다. 여기서 흙쌓기 높이라 함은 원지반에서 흙쌓기를 한 노체의 높이와 노상의 높이를 합한 것이다. 즉, 원지반에서 노상까지의 높이를 의미한다.

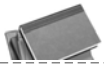
흙쌓기가 완료되면 흙쌓기 전에 비하여 지하수위가 일부 상승할 가능성이 있다. 지하수위 상승 정도는 흙쌓기 재료특성 및 흙쌓기 폭에 영향을 받는다. 동상방지층 설치여부 판정에 사용하는 흙쌓기 높이 2m의 기준은 이러한 특성을 고려하여 결정된 값이다. 따라서 아래의 경우에는 흙쌓기 높이만으로 지하수위 영향에 의한 동상 가능성을 직접적으로 판정하기 곤란하다.

- (1) 독립적인 도로 구조물로서 흙쌓기가 이루어지는 경우를 제외하고 단지와 같이 넓은 지역에서 흙쌓기가 이루어지는 구간에서의 도로
- (2) 편절편성 구간
- (3) 통로박스과 수로박스 등 구조물이 설치된 구간

(3)의 토피고가 낮은 지중구조물에서는 동절기 결빙에 따른 포장융기가 발생될 수 있으므로 토피고가 3m 이하인 지중구조물에서는 포장융기가 발생되지 않도록 종방향 맨암거를 설치하여야 한다. 세부사항은 「노면 불연속 구간 파손 저감 지침」에 따른다.

흙쌓기 높이 2m 이상, 이하 구간이 불연속적으로 이어질 경우, 흙쌓기 높이 2m의 기준은 상당히 안전측으로 결정되어진 것이므로 흙쌓기 높이가 2m에서 다소 부족하더라도 큰 문제가 되지는 않으며, 아래와 같이 구분하여 적용한다.

- 일반적으로 흙쌓기 높이가 2m 이상인 구간이 50m 이상 이어질 경우 동상방지층을 삭제
- 흙쌓기 높이 2m 이상이 많고 부분적으로 흙쌓기 높이 2m 미만 구간이 존재하는 경우, 2m



미만 구간의 연장이 30m 미만일 경우에는 동상방지층을 생략

- 흙쌓기 높이 2m 미만이 많고 부분적으로 흙쌓기 높이 2m 이상 구간이 존재하는 경우 2m 이상 구간의 연장이 30m 미만일 경우에는 동상방지층을 설치
- 흙쌓기 높이 2m 미만인 구간과 성토고 2m 이상 구간이 계속적으로 반복되며 각각의 연장이 30m 미만일 경우에는 동상방지층을 설치



3.3 지하수위를 고려한 설치기준

동상수위높이차가 1.5m 이상인 경우에는 동상방지층을 생략한다.

【해 설】

지하수위가 매우 낮아 노상으로부터 수분공급이 억제된 경우에는 동상방지층을 생략한다. 동결면으로부터 물이 공급되는 지하수위 사이의 높이차가 1.5m 이상인 경우에는 노상으로부터 모세관상승에 의한 수분공급이 억제되기 때문에 동상방지층을 생략하는 것이다. 동상수위높이차는 설계 동결깊이로부터 동절기 동결이 우려되는 기간에 예상되는 지하수위까지의 깊이를 칭한다.

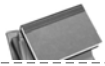
동상 가능성에 대한 지하수위의 영향은 직접적인 설계조건으로서, 본 기준은 흙쌓기 높이구간, 흙쌓기·땅깎기 경계구간, 땅깎기구간 모두에 있어서 적용 가능하다. 그러나 경계조건이 매우 상이한 통로박스과 수로박스 등 구조물이 설치된 구간에 대해서는 적용할 수 없다.

동상수위높이차는 지하수위에 따라 시간적, 공간적으로 변동한다. 흙쌓기 구간의 경우, 흙쌓기 전의 지하수위에 비하여 흙쌓기 후 지하수위의 상승 가능성이 존재한다. 지하수위 상승 가능성을 포함하여 안전측으로 결정된 동상수위높이차는 1.5m를 기준으로 한다. 땅깎기의 경우에는 땅깎기 전의 지하수위에 비하여 땅깎기 후 지하수위는 오히려 낮아지게 되므로 측정된 지하수위에서 시간적인 변동만을 고려하여 동상수위높이차를 결정하게 된다.

동상수위높이차는 지하수위의 시간 변동에 따라 변화한다. 따라서 특정시기에 측정된 지하수위는 동절기 동상이 우려되는 기간의 지하수위로 보정된 값을 사용하여 동상수위높이차를 평가한다. 지하수위 측정시기에 따른 보정은 측정시기를 고려하여 적용한다. 지하수위 측정 시기가 5월~8월 또는 11월~2월에 포함된 경우에는 0.8m, 3월~4월, 9월~10월에 포함된 경우에는 1.5m의 지하수위 변동을 고려한다. 다만, 동절기(11월~2월)에 연속적인 지하수위 계측을 한 경우에는 지하수위의 시간적 변동을 별도로 고려할 필요가 없다.

(1) 동절기(11월 ~2월)에 연속적인 지하수위 계측을 실시한 경우

$$H_{f,min} = H_{m,min} - D_f$$



여기서, $H_{f,min}$ = 동상수위높이차, $H_{f,min} \geq 0$

$H_{m,min}$ = 측정된 지하수위중 최소값 (포장 표면으로 부터의 깊이)

D_f = 설계동결깊이

(2) 지하수위 계측을 특정 시기에 실시한 경우

$$H_{f,min} = H_m - H_c - D_f$$

여기서, $H_{f,min}$ = 동상수위높이차, $H_{f,min} \geq 0$

H_m = 측정된 지하수위 (포장 표면으로 부터의 깊이)

H_c = 지하수위의 시간적 변동을 고려한 보정 값

, = 0.8m (측정시기가 5월~8월 또는 11월~2월에 포함된 경우)

= 1.5m (측정 시기가 3월, 4월, 9월, 10월에 포함된 경우)

D_f = 설계동결깊이

동상수위높이차가 음(陰)의 값으로 계산되는 경우, 동상설계 지하수위를 0으로 고려한다. 이유는 지하수위가 매우 높아 포장표면으로 용수 등이 발생하는 경우, 포장배수시설 기준에 따라 지하배수시설을 적용하여 지하수위를 노상면 이하로 저하시키는 것을 전제로 한 것이다.

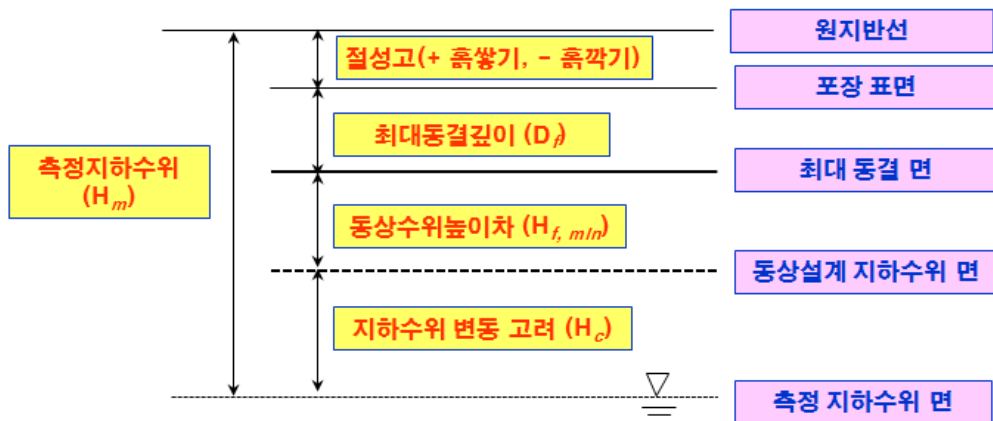


그림 3.3 동상수위높이차 결정



3.4 노상토 특성을 고려한 설치기준

0.08mm 통과율을 기준으로 동상민감도를 판단하여 동상방지층 설치 유무를 결정한다. 0.08mm 통과율이 8% 이하일 경우에는 동상방지층을 생략한다.

【해 설】

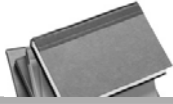
흙의 동상민감도는 온도조건, 물의 유출입 조건, 흙의 입도, 액소성, 간극비, 함수비 등의 조건에 따라 결정되나, 이와 같은 조건을 모두 고려하여 결정하는 것은 불가능하다. 또한 도로 구조물과 같이 연장이 긴 구조물은 고가의 시험비용과 장기간의 시험시간을 요구하는 실내동상시험이 필요하므로 비경제적이며, 규격화된 시험이 없는 상태이므로 시험조건과 시험자에 의한 편차가 크다.

흙의 동상민감도는 실트질 입자의 양에 따라 크게 좌우되며, 기준에 제시된 다수의 동상민감도 기준들은 0.02mm 통과율을 사용하고 있다. 그러나 0.02mm 통과율을 사용하기 위해서는 비중계 분석이 필요하나, 실무적으로 이용하기 어려운 단점이 있다. 일반적으로 0.02mm 통과율은 0.08mm 통과율의 약 1/2이다.

따라서 동상민감도를 판단하는 가장 보편적인 방법은 입도에 기반한 0.08mm 통과율에 따른 동상민감도 분류가 가장 실무적인 방법이라 할 수 있다.

비동상성 흙이란 상대적으로 동상에 덜 민감함을 나타내며, 동상성 흙이란 상대적으로 동상에 더 민감함을 의미한다.

0.08mm 통과율 기준 8% 이하의 노상토 재료는 비동상성 재료로 간주하여 동상방지층을 설치하지 않으며, 0.08mm 통과율 기준 8%를 초과하는 노상토 재료는 동상성 재료로 간주하여 동상방지층을 설치하여야 한다.



구조적 능력을 고려한 동상방지층 결정

4

4. 구조적 능력을 고려한 동상방지층 결정

아스팔트 콘크리트 포장에서 동상방지층의 구조적 능력은 ΔBDI (동상방지층 구조적 평가 모형, $\Delta Base Damage Index(\%)$)에 의하여 결정된다.

【해 설】

도로설계에 사용하는 한국형 포장설계법은 동상방지층을 구조적 포장층으로 고려하지 않고 있으나, 연구결과 동상방지층은 포장체 내에서 구조적인 역할을 일부분 담당하는 것으로 나타났다. 따라서 포장 설계 단계에서 동상방지층의 구조적 효과를 고려하여 별도의 설계를 수행해야 한다.

동상방지층의 구조적 특성을 분석하고 도로 포장 설계에 적용하기 위하여 (식 4.1)과 같이 $\Delta BDI(\%)$ 을 제시하였다. $\Delta BDI(\%)$ 은 포장 하부의 처짐량 비를 이용하여 전체 포장체에서 동상방지층 유무에 따른 구조적 효과의 비를 나타낸다.

$\Delta BDI(\%)$ 은 각각의 포장층(아스팔트층, 보조기층, 동상방지층) 두께에 따른 방정식으로 땅깍기부, 흙쌓기부 및 절성경계부 등 노상조건에 따른 구조적 효과도 반영한 것이다.

$$\begin{aligned} \Delta BDI(\%) = & [4.3101 + 0.004211 \times TAP - 0.007136 \times TSB + 0.001815 \times TANTI \\ & - 0.3923 \times TYPE I + 0.0286 \times TYPE II]2 \end{aligned} \quad (\text{식 4.1})$$

여기서, $\Delta BDI(\%)$: 동상방지층 구조적 평가 모형 (%)

TAP : 아스팔트층 두께 (mm)

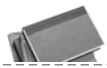
TSB : 보조기층 두께 (mm)

TANTI : 동상방지층 두께 (mm)

TYPE I : 땅깍기부 (O : 1, X : 0)

TYPE II : 절성경계부 (O : 1, X : 0)

그림 4.1는 $\Delta BDI(\%)$ 모형을 이용하여 포장 설계를 수행하는 절차이며 다음 사항에



유의해야 한다.

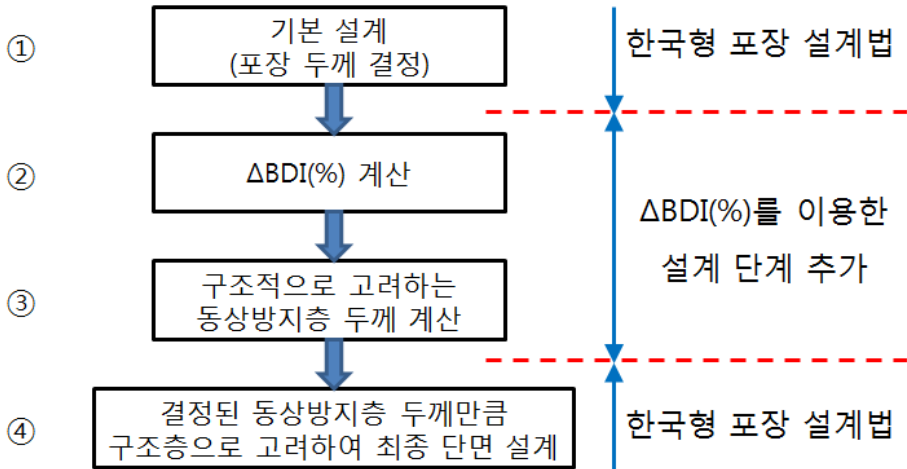
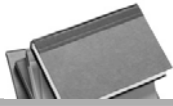


그림 4.1 ΔBDI(%) 설계 절차

- ① 포장 두께 결정을 위한 기본 설계는 한국형포장설계법에 따른다.
- ② 기본 설계에서 결정된 포장 두께와 (식 4.1)에 따라 $\Delta BDI(\%)$ 값을 계산하여 동상방지층의 구조적 효과를 분석한다.
- ③ 구조해석 프로그램을 이용하여 구조적으로 고려되는 동상방지층의 두께를 계산한다. 동상방지층 두께를 증가 시키면서 구조 해석에 적용하여 $\Delta BDI(\%)$ 값과 동일한 값이 나오는 동상방지층 두께를 결정한다.
- ④ 구조적으로 고려되는 동상방지층 두께만큼 포장설계에 적용하여 최종 단면 설계를 수행한다. 동상방지층의 구조적 효과는 기층 두께를 감소시키는 것으로 포장 설계에 반영한다.

시멘트 콘크리트 포장의 경우 콘크리트 슬래브에서 대부분의 교통하중을 지지하여 동상방지층의 구조적 역할이 매우 미미한 것으로 분석되어 시멘트 콘크리트 포장 설계 시 동상방지층의 구조적 효과는 고려하지 않는다.



동상방지층 재료

5



5. 동상방지층 재료

5.1 일반사항

동상방지층은 포장을 동결로부터 보호하기 위하여 노상면 상단에 시공하는 것으로써 그 재료는 자갈 또는 모래와 같은 비동결 재료로 동결에 의한 분리현상이 생기지 않아야 한다.

【해 설】

흙과 같이 물을 함유하고 있는 다공성 물질이 낮은 온도에 노출되어 그 일부가 동결할 때 이미 동결된 부분의 흙은 아직 동결되지 않은 부분으로부터 물을 빨아 들인다. 동결의 진행과 물의 공급이 일치하면 체적팽창이 일어나며, 동결된 부분의 토립자 사이의 평균적인 간극은 얼기 전에 비하여 확장된다. 또한, 확장된 토립자 사이의 간극에 흡입된 물은 동결된 얼음으로 남아 있게 된다. 이러한 현상을 동상이라고 한다. 따라서 동상을 방지하기 위하여 모세관현상을 방지하도록 투수가 잘 되어야 하며 세립분이 적은 재료를 사용하여야 한다.



5.2 동상방지층 재료의 품질기준

동상방지층의 재료는 다음의 기준을 만족하여야 한다.

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

【해 설】

동상은 세립분의 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. 0.08mm 통과율에 따른 최적함수비의 특성 분석에서는 0.08mm 통과율이 증가할수록 최적함수비는 증가하고, 최대건조밀도는 감소하는 것으로 나타났다. 투수 특성 분석에서는 0.08mm 통과율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

일반적으로 입상재료는 투수가 양호할수록 동상방지의 효과는 커지게 된다. 도로에 지중구조물이 있는 경우에는 투수성이 부족하여 도로 법면으로 침투된 물이 빠져 나가지 못하고 체수되어 동상이 발생되므로 동상방지층은 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.

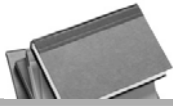


조골재의 함유율 특성에서 2mm 이하 통과율은 45% 이하가 되어야 하며 골재의 유효입경 D10은 0.1mm 이상이어야 한다.

동상방지층의 다짐 후 1층 두께는 200mm를 넘지 않도록 균질한 재료를 균등하게 포설하여야 한다. 동상방지층은 KS F 2312의 E 다짐방법으로 구한 최대건조밀도의 95% 이상으로 다짐하여야 하며, 다짐 중의 함수비는 최적함수비의 $\pm 2\%$ 범위 이내로 유지하여야 한다.

완성된 동상방지층은 계획고와의 차이가 $\pm 30\text{mm}$ 이내가 되도록 하여야 하며, 완성된 층의 시공두께가 설계두께보다 $\pm 10\%$ 이상의 차이가 발생한 구간은 표면을 80mm 이상 긁어 일으켜 소요두께가 되도록 재료를 보충하거나 제거한 후 다짐밀도가 확보되도록 재다짐하여 마무리하여야 한다.

동상방지층의 마무리면에 대한 최종 점검 후 보조기층 재료를 깔기 전에 우천 등으로 노면 손상이 있는 경우와 동절기를 경과한 경우 또는 3개월 이상 방치한 경우에는 마무리 다짐 및 점검을 재실시하여야 한다.



부 록

A

[부록 A] 도로 동상방지층 설계 예

동상방지층을 제외한 포장단면 두께가 결정되면, 동상을 고려한 동상방지층 설계를 수행한다. 동상방지층 설계는 크게 세 부분으로 나누어지는데, 첫 번째는 동상방지층 설치 필요성 여부를 구간별로 평가하는 것이고, 두 번째는 동상방지층이 필요한 구간의 동상방지층 두께를 결정하고, 세 번째는 동상방지층의 구조적 능력을 고려해서 포장단면을 조정하는 것이다.

본 설계의 구간의 일반적 특성은 다음과 같다.

- (1) 도로구분 : 국도 ○○ 호선
- (2) 위치 : ○○
- (3) 설계구간 길이 : 8km
- (4) 포장형식 : 아스팔트 콘크리트 포장
- (5) 포장층 두께 : 표층 50mm, 중간층 60mm, 기층 140mm, 보조기층 200mm
- (6) 설계구간 포장계획면의 최대표고 : 281.3m ~ 366.3m (최대표고 : 366.3m)

A.1 동결깊이를 고려한 동상방지층 설치여부 판정

동상방지층 설계의 시작은 동결깊이를 고려하여 동상방지층 설치 필요성 여부를 판정하는 것이다. 포장층의 두께가 설계동결깊이보다 큰 경우에는 동상방지층을 생략하고 설계를 완료한다.

A.1.1 동결지수 산정

기상청 데이터가 없는 ○○지역의 동결지수를 산정하기 위하여 표 A.1의 좌표별 동결지수를 사용한다.

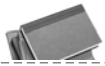


표 A.1 좌표별 동결지수

(단위 : °C·일)

동 경 \ 북 위		34			35					36	
		0.4	0.6	0.8	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.0	0.2
126	0.4	89	84	61	99	133	153	165	174	181	184
	0.6	67	74	94	113	132	152	166	172	175	181
	0.8	67	84	96	113	107	151	161	171	166	203
127	0.0	92	85	96	118	121	159	169	160	180	214
	0.2	92	65	102	125	147	197	223	127	182	207
	0.4	96	81	104	128	157	207	212	193	219	224
	0.6	101	88	87	118	141	160	188	189	210	222
	0.8	100	78	66	102	117	89	147	167	188	203
128	0.0	103	87	66	99	103	111	140	157	175	162
	0.2	105	94	89	101	113	127	130	153	165	174
	0.4	104	87	55	82	112	128	136	142	156	172
	0.6	105	87	55	67	107	119	126	103	128	217
	0.8	109	97	82	85	100	114	121	129	144	208
129	0.0	115	107	96	70	73	111	122	132	133	166
	0.2	121	115	106	92	94	100	94	119	117	138
	0.4	127	122	117	113	110	107	84	108	74	116

주) 표고 100m 기준

표 A.1 좌표별 동결지수(계속)

(단위 : °C·일)

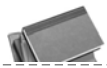
북위 동경		36			37					38	
		0.4	0.6	0.8	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.0	0.2
126	0.4	189	210	218	232	247	262	334	347	301	287
	0.6	182	212	221	238	250	225	266	310	299	294
	0.8	210	222	236	252	268	265	276	291	303	309
127	0.0	219	236	257	263	288	286	285	303	333	349
	0.2	217	237	262	269	292	305	312	330	403	445
	0.4	199	218	244	282	339	358	356	350	406	444
	0.6	243	249	256	288	332	353	361	376	383	366
	0.8	271	272	274	309	313	327	392	402	391	348
128	0.0	208	222	274	347	324	321	361	370	368	346
	0.2	201	198	243	315	393	309	306	324	407	347
	0.4	208	217	223	251	283	271	264	271	279	215
	0.6	273	209	214	225	234	232	232	225	213	139
	0.8	252	206	233	248	204	198	204	152	188	189
129	0.0	189	197	226	231	164	148	139	139	177	195
	0.2	148	153	168	160	163	127	123	162	181	194
	0.4	108	99	127	74	141	154	158	171	184	193

주) 표고 100m 기준

설계구간 ○○ 좌표는 동경 127.4, 북위 37.1이고, 최대표고는 366.3m이다.

A.1.2.1 좌표에 따른 동결지수 산정

○○지역의 좌표가 표 A.1에 없는 좌표이므로, 직선보간법을 이용하여 해당 좌표의 동결지수를 구한다. 동경 127.4, 북위 37.1에 대한 동결지수는 동경 127.4, 북위 37.0과 동경



127.4, 북위 37.2의 값들을 이용하여 구한다.

$$\text{동경 127.4, 북위 37.1의 동결지수} = (282 + 339)/2 = 310.5$$

따라서 북위 37.1, 동경 127.4의 설계구간 ○○의 동결지수는 310.5(°C·day)이다

A.1.2.2 표고차에 대한 동결지수 수정

위의 표 A.1의 동결지수들은 지반고 100m를 기준으로 한 값들이다. 하지만 ○○지역의 지반고는 100m가 아니기 때문에, 지반고의 차이에 대한 수정이 이뤄져야 한다. 현재 ○○지역의 지반고 100m 기준일 때의 동결지수는 310.5(°C·day)이고, 실제 지반고는 366.6m이다.

지반고의 차이에 대한 수정은 (식 A.1)과 같이 결정한다. (식 A.1)의 동결기간은 설계구간에서 가장 가까운 측후소의 동결기간을 사용한다.

$$\text{수정동결지수}(^{\circ}C) = \text{동결지수} + 0.5 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차}(m)}{100} \quad (\text{식 A.1})$$

$$\text{수정동결지수}(^{\circ}C) = 310.5 + 0.5 \times 87 \times \frac{266.3}{100} = 426.3$$

A.1.2 설계동결깊이 산정

설계구간 ○○의 최대동결깊이는 한국형 동결깊이 예측식(식 A.2)을 사용한다.

$$Z = C \sqrt{F} \quad (\text{식 A.2})$$

여기서, Z = 최대동결깊이(mm)

F = 설계동결지수(°C·일)

C = 동결지수에 따른 보정상수

표 A.2 동결지수에 따른 보정상수(C) 값

설계동결지수(F) (°C·일)	0~ 100미만	100이상 200미만	200이상 300미만	300이상 400미만	400이상 500미만	500이상 600미만
동결지수에 따른 보정 상수(C) 값	27.3	30.2	35.6	42.1	48.1	53.0

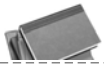
설계동결지수가 432.2이기 때문에 표 A.2에 따라 C는 48.1이다.

$$\text{최대동결깊이 } Z = 48.1 \sqrt{426.3} = 993.12 \approx 1000mm \quad (\text{식 A.3})$$

포장의 설계에서 설계동결깊이는 노상동결관입허용법을 적용하여 최대동결깊이의 75%를 사용한다.

$$\text{설계동결깊이 } Z = 1000 \times 0.75 = 750mm \quad (\text{식 A.4})$$

따라서 동상방지층은 300mm($750mm - 450mm = 300mm$)의 두께로 설치한다. 동상방지층의 설치 두께 300mm는 전체 설계구간에 적용되는 것은 아니며, 터널, 교량 등 구조물 구간은 동상방지층이 불필요하다. 노상토가 암반구간인 경우에도 동상방지층 설치 불필요하다. 흙쌓기 및 땅깍기 구간이라 할지라도 동상방지층 설치여부는 노상토 조건 및 지하수위를 고려한 추가적인 검토를 통하여 최종적으로 판정한다. 또한 동상방지층이 설치되는 구간에 대해서는 동상방지층의 구조적 능력을 고려하여 포장단면을 재조정된 단면과 시공성, 경제성 등을 고려하여 최종단면을 결정하게 된다.



A.2 흙쌓기 높이를 고려한 동상방지층 설치구간 판정 및 지반조사 계획

A.2.1 흙쌓기 높이를 고려한 동상방지층 설치구간 판정

흙쌓기 높이는 종평면도 상에서 결정한다. 일반적으로 20m 간격으로 계획고, 지반고를 측정하게 되므로 각 측점의 흙쌓기 높이를 표 A.3과 같이 결정한다.

표 A.3 종평면도 상에서 흙쌓기 높이 결정

측점	0+20	0+40	0+60	0+80	0+100	0+120	...
계획고 (m) ①	291.51	292.01	292.51	293.51	293.55	294.15	...
지반고 (m) ②	288.14	288.65	289.21	286.52	286.52	285.87	...
절성고 (m) ③	3.37	3.36	3.30	6.99	7.03	8.28	...
포장층두께 (m)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	...
흙쌓기 높이(m) ④ (+흙쌓기, -땅깎이)	2.92	2.91	2.85	6.54	6.58	7.83	...

① 계획고 : 포장체 완성면(포장표면)의 표고

② 지반고 : 원지반의 표고

③ 절성고 = 계획고 - 지반고 = ① - ②

④ 흙쌓기 높이 = 노상 상단면까지 흙쌓기 높이 = 절성고 - 포장층 두께

전체 설계구간에서 구조물 구간(터널 및 교량), 땅깎기 구간, 흙쌓기 2m 이상 구간, 흙쌓기 2m 이하 구간 등으로 나누어 조사한다. 동상방지층 필요성 여부를 추가 검토해야 하는 구간은 땅깎기 구간 및 흙쌓기 높이 2m 이하 구간이다. 조사된 결과는 그림 A.1와 같이 나타냈으며, 추가적으로 동상방지층 설치여부를 판정해야하는 검토구간은 표 A.4와 같이 나타냈다.

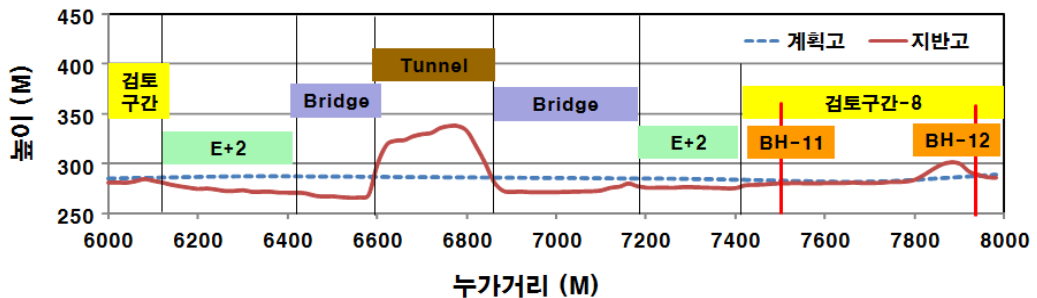
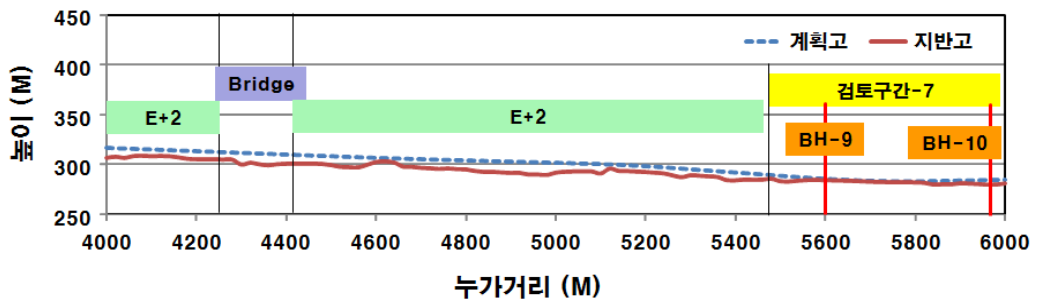
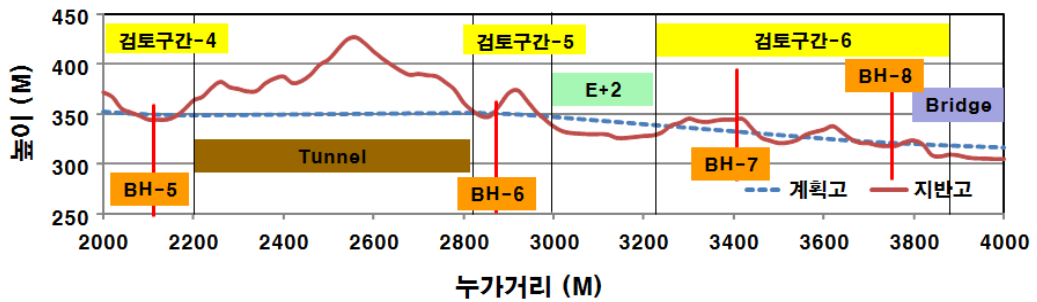
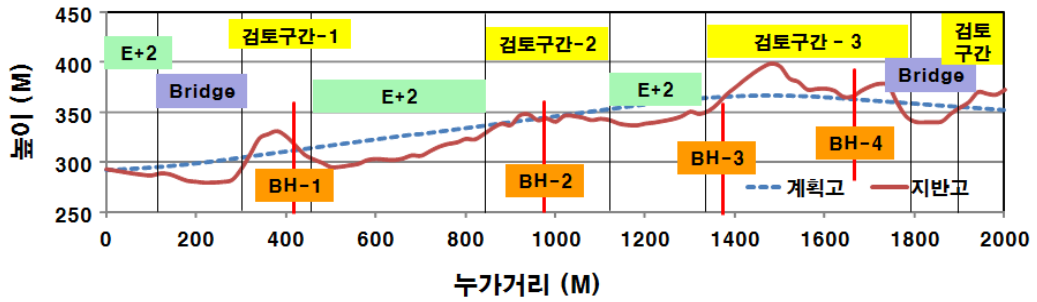


그림 A.1 동상방지층 설계구간 특성 및 지반조사 계획

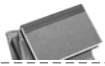


표 A.4 동상방지층 설치여부 판정이 필요한 구간

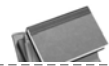
구 분	시 점	종 점	구간 길이 (m)
검토구간 - 1	0 + 320	0 + 420	100
검토구간 - 2	0 + 860	1 + 120	260
검토구간 - 3	1 + 340	1 + 760	420
검토구간 - 4	1 + 880	2 + 180	300
검토구간 - 5	2 + 820	2 + 980	160
검토구간 - 6	3 + 260	3 + 840	580
검토구간 - 7	5 + 480	6 + 100	620
검토구간 - 8	7 + 420	8 + 000	580

A.2.2 동상설계 지반조사 계획 수립

설계동결깊이 및 흙쌓기 높이를 고려하여 동상방지층의 설치 필요성을 우선 판정하였다. 동상방지층 설치여부에 대한 추가적인 검토가 필요한 구간에 대해서는 수분영향 및 노상토의 특성을 조사하여 동상방지층 설치 여부를 판정하게 된다. 또한 지하수위 및 노상토의 토질 특성을 조사할 필요가 있다.

도로 동상방지층 설치 필요성 판정을 위한 지반조사는 도로 중심선을 따라 300m~500m 간격을 기본으로 한다. 따라서 검토구간의 길이가 300m 이하인 곳에서는 한 곳, 검토구간 길이가 300m~500m 이상인 경우에는 300m~500m 간격으로 시추공을 설치한다.

표 A.4에 나타난 검토구간의 특성을 고려하여, 구간 길이가 300m 이하인 구간은 1개소를, 구간길이가 300m 이상인 구간에서는 2개소의 시추공 조사를 계획하였다. 시추공이 2개 이상



설치되는 구간길이가 300m~500m 이상 구간은 세부적인 구간으로 나누고, 각각의 세부적인 구간에 시추공을 1개씩 계획하였다. 검토구간은 동상방지층 설치 필요성을 판정하는 최소구간으로 빈번한 포장단면의 변화로 인한 시공의 조잡성을 피하여 설정한다.

각 구간의 시추공 세부위치는 가급적 구간의 중심위치에 근접하고 지하수 계측을 위한 시추 깊이가 크게 필요하지 않으며, 쌓기 또는 깎기 높이가 낮은 곳으로 선정하였다. 구조물설계 등 다양한 목적으로 수행하는 지하수위 자료를 동상방지층 설치여부 판정을 위한 목적으로 추가 활용할 수 있다. 지하수위 조사를 위한 계측위치를 정리하면 표 A.5와 같다.

표 A.5 동상방지층 설치여부 판정을 위한 지반조사 위치 선정

BH	검토구간	시 점	종 점	지반조사 시추위치	구간길이 (m)
BH-1	검토구간 - 1	0 + 320	0 + 420	0 + 320	100
BH-2	검토구간 - 2	0 + 860	1 + 120	0 + 960	260
BH-3	검토구간-3-1	1 + 340	1 + 550	1 + 380	210
BH-4	검토구간-3-2	1 + 550	1 + 760	1 + 660	210
BH-5	검토구간 - 4	1 + 880	2 + 180	2 + 080	300
BH-6	검토구간 - 5	2 + 820	2 + 980	2 + 860	160
BH-7	검토구간-6-1	3 + 260	3 + 550	3 + 460	290
BH-8	검토구간-6-2	3 + 550	3 + 840	3 + 760	290
BH-9	검토구간-7-1	5 + 480	5 + 790	5 + 600	310
BH-10	검토구간-7-2	5 + 790	6 + 100	6 + 080	310
BH-11	검토구간-8-1	7 + 420	7 + 710	7 + 580	290
BH-12	검토구간-8-2	7 + 710	8 + 000	7 + 780	290

조사깊이는 포장계획면 아래 10m 이내로 하고, 그 이전에 암반이 도출되는 경우에는 암반선을 확인하고 시추조사를 완료한다. 깎기 구간에서는 노상토가 설치되는 깊이에서



교란시료를 채취한다.

노상토의 특성은 시추공에서 채취한 교란시료를 사용하여 판정한다. 원지반을 노상으로 사용할 경우에는, 지층의 입도분석, 액소성한계 등 기초 토질 물성치를 실내시험을 통하여 결정해야한다. 노상이 흙쌓기 구간인 경우에는 흙쌓기 재료에 대한 기초 토질 물성치를 실내시험을 통하여 결정해야한다. 동상민감도 결정을 위한 입도분석 수량은 시추조사 수량과 동일하게 수행한다.

동상민감도 결정을 위한 입도분석 수량은 시추조사 수량과 동일하게 수행하며, 노상상부에 해당되는 재료만을 이용한다. 노상토는 기본적으로 하부노상 품질기준 이상인 0.08mm 통과율 50% 이하의 조립토만을 이용해야 하므로, 동상민감도 결정시 흙의 분류 및 입도분석에서의 비중계 분석을 생략할 수 있다.

연장 300m 이내에 쌓기부만 존재하고, 쌓기 재료의 흙을 깎기부의 흙으로 유용할 경우 깎기부의 시험결과를 이용한다.

지하수위가 포장계획면으로부터 10m이하에 있는 경우, 지하수위의 공간적 변동 및 시간적 변동을 고려할 지라도 동상이 발생하는 충분한 수분공급이 억제되므로 지하수위 관측은 불필요하다. 10m 이하에서 지하수위가 발견되지 않는 경우에는 조사를 중단하고, 지하수위 10m 이상으로 표기한다.

지하수위는 시간에 따라 변화하므로, 동상방지층 필요성 판정 시 동결이 일어나는 기간의 연속적인 지하수위 자료를 필요로 한다. 그러나 지하수위를 연속적으로 측정하는 것은 많은 비용을 수반하여 비경제적인 경우가 많이 발생한다. 따라서 특정한 시기에 1회 측정치로부터 지하수위의 시간적 변동을 고려하여 동상설계 지하수위를 결정하도록 하여야 한다. 다만, 관측정 설치 직후의 지하수위는 설치과정에서 교란될 가능성이 있으므로, 지하수위 측정은 관측정 설치 후 적어도 7일 이후에 실시한다. 만일 지하수위를 연속적으로 측정하는 경우는, 11월~2월(4개월) 동안의 계측을 실시하고 적어도 2주에 1회 이상 지하수위를 측정해야 한다.

조사결과 보고서에는 측정위치, 지층구조, 측정 지하수위, 지하수위 조사일시, 노상토의 토질특성의 내용을 포함하여야 한다. 결과보고서에 조사일시를 포함하는 것은 지하수위의

시간적 변동을 고려하여 동상설계 지하수위를 결정하기 위함이다.

A.3 지하수위를 고려한 동상방지층 설치구간 판정

지하수위를 고려한 동상방지층 설치구간 판정을 위해 측정된 지하수위 계측결과는 표 A.6과 같다. 측정된 지하수위는 특정한 시기에 지표면으로부터 깊이를 측정한 것이다. 동상수위높이차를 결정하기 위해서는 측정시기에 따른 보정과 포장표면으로부터 최대동결깊이를 고려하여야 한다.

표 A.6에 정리한 동상수위높이차는 각 측정위치에서의 지하수위로부터 지하수위의 시간적 변동을 고려하여 결정된 값이다. 지하수위는 지형조건에 따라 공간적으로도 변화하므로 이를 고려하여 검토구간의 최종적인 동상수위높이차를 결정해야한다.

지하수위의 공간적 변화는 하천 등과 같은 인접한 지하수위 경계조건, 지형변화, 특히 암반선의 변화와 밀접한 관련이 있다. 또한 도로건설에 따른 지형변화(흙쌓기 및 땅깍기)에도 영향을 받는다.

그러나 도로건설에 따른 지형변화(흙쌓기 및 땅깍기)이 영향은 별도로 고려할 필요가 없다. 땅깍기 구간인 경우에는 도로건설에 따라 지하수위가 내려가면서 동상수위높이차가 증가하여 보다 안전하므로 별도로 고려할 필요가 없다. 흙쌓기 구간에서는 일부 지하수위 상승에 따른 동상수위높이차의 감소가 발생할 수 있으나, 동상수위높이차 판정 기준 값에 반영되어 있으므로 추가적으로 고려할 필요성은 없다.

지하수위의 공간적 변화는 하천 등과 같은 인접한 지하수위 경계조건, 지형변화를 고려하여 엄밀하게 지하수위 선을 결정하는 것은 어려운 일이다. 따라서 안전측의 개념에서 검토구간의 최대지하수위 상승을 고려하여 동상수위높이차를 적용하여야 한다. 또는 지하수위의 공간적 분포를 결정하는 일반적인 방법을 적용하여도 무방하다.

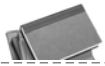


표 A.6 지하수위 측정 결과 및 측정위치의 동상수위높이차 결정

No	측점	평가구간	구간 길이 (m)	지하 수위 (m) (GL-) ①	측정 일시	Hc (m) ②	절성고 (m) ③	(Hf,min) (m) ④
1	0+320	검토구간-1	100	5.4	00년 3월 20일	1.5	-1.77	1.13
2	0+960	검토구간-2	260	4.7			1.76	3.96
3	1+380	검토구간-3-1	210	8.0			-2.03	3.47
4	1+660	검토구간-3-2	210	8.4			-2.39	3.51
5	2+080	검토구간-4	300	5.6			0.63	3.73
6	2+860	검토구간-5	160	4.3			1.53	3.33
7	3+460	검토구간-6-1	290	4.4	00년 5월 16일	0.8	1.62	3.52
8	3+760	검토구간-6-2	290	5.4			1.56	4.46
9	5+600	검토구간-7-1	310	6.4			1.88	5.78
10	6+080	검토구간-7-2	310	5.7			1.36	4.56
11	7+580	검토구간-8-1	290	2.2			1.9	1.60
12	7+780	검토구간-8-2	290	1.9			1.13	0.53

① 지하수위 = 원지반에서 지하수위의 깊이

② Hc = 지하수위의 시간적 변동을 고려한 보정 값

= 0.8m (측정시기가 5월~8월 또는 11월~2월에 포함된 경우)

= 1.5m (측정 시기가 3월~4월, 9월~10월에 포함된 경우)

③ 절성고 = 계획고 - 지반고 (+ 흙쌓기, - 땅깍기)

④ $(H_{f,min}) = \text{동상수위높이차}$

= 측정된 지하수위 (포장 표면으로부터의 깊이)

- 지하수위의 시간적 변동을 고려한 보정 값 - 최대동결깊이

= (① + ③) - ② - 최대동결깊이

측정 지점에서 시간적 변동을 고려하여 결정된 동상수위높이차로부터 검토구간의 공간적 변동을 고려한 보수적 관점의 동상수위높이차를 (식 A.5) 및 (식 A.6)을 사용하여 결정한다.

$$(H_{f,min})_D = (H_{f,min})_m - \Delta H_w + \Delta H_p \quad (\text{식 A.5})$$

여기서, $(H_{f,min})_D$ = 검토위치의 동상수위높이차

$(H_{f,min})_m$ = 지하수위 측정위치의 동상수위높이차

ΔH_w = 공간적 최대지하수위 변동높이

ΔH_p = 포장계획면 높이차 (검토위치 - 측정위치)

$$\Delta H_w = \text{Min}[0.05 \times \Delta L, \Delta H] \quad (\text{식 A.6})$$

여기서, ΔH_w = 공간적 지하수위 변동 최대 높이차

ΔL = 최대지반고 위치와 측정지점 사이의 거리

ΔH = 최대지반고 위치와 측정지점 사이의 지반고 높이차

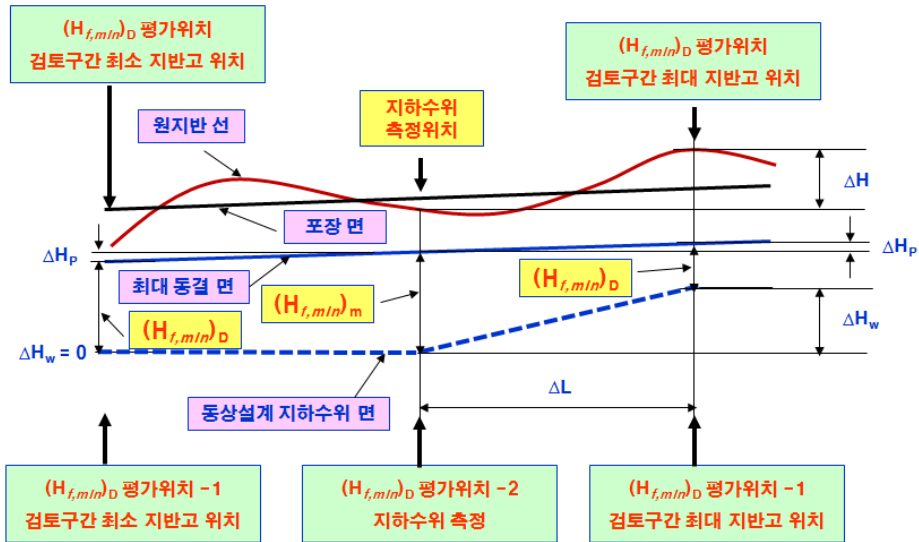
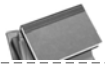
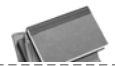


그림 A.2 동상설계 지하수위의 공간적 변동 결정 개념도

(식 A.6)은 지형이 급변하더라도 지하수면의 경사도는 5% 이내로 제약되는 것을 고려하여 결정한 것이다. 지반고가 최대인 위치에서 지하수위의 최대 공간적 변화는 (식 A.5)과 같이 결정한다. 지반고가 최소인 위치에서의 공간적 최대지하수위 변동높이(ΔH_w)는 0으로 한다.

검토구간 1의 경우, 표 A.7에 정리한 바와 같이 지하수위 측정위치에서 동상수위높이차는 1.13m로 결정되었다. 본 구간의 경우 동상수위높이차가 1.5m 이하로 수분영향에 의한 기준으로 동상방지층을 생략할 수 없는 구간으로, 동상수위높이차의 공간적 변동을 추가적으로 검토할 필요가 없다.

검토구간 3-2의 경우, 표 A.7과 같이 지하수위 측정위치에서 동상수위높이차는 3.51m로 결정되었다. 지하수위 측정위치에서 동상수위높이차가 1.5m 이상이므로 검토구간의 지반고가 최대 또는 최소인 위치에서 동상수위높이차의 공간적 변동을 추가적으로 검토할 필요가 있다. 검토구간 3-2의 최대지반고는 1+720 으로 지하수위측정 지점과의 거리는 60m, 지반고 높이차는 12.8m, 포장계획면 높이차는 -1.94m로 조사되었다. 따라서 검토구간-3-2에서 최대지반고 위치에서 동상수위높이차는 (식 A.5) 및 (식 A.6)을 적용하여 0.93m 로



결정된다. 최소 지반고는 1+760 으로 포장계획면 높이차는 -3.23m로 나타났다. 따라서 검토구간 3-2에서 최소 지반고 위치의 동상수위높이차는 (식 A.5) 및 (식 A.6)을 적용하여 0.28m로 평가된다. 지하수위 측정위치, 최대지반고 위치, 최소지반고 위치 중 최소 동상수위높이차는 0.28m로 1.5m 이하로 결정된다. 따라서 본 구간에서는 동상수위높이차를 기준으로 동상방지층을 생략할 수 없다.

앞에서와 같은 방법으로 각 구간의 동상수위높이차를 결정하여 정리하면 표 A.7과 같다. 각 구간의 동상수위높이차 중 최소값을 이용하여 해당 구간의 동상방지층 설치여부를 판정한다. 예를 들면, 검토구간 5의 경우에는 지하수위 측정위치의 동상수위높이차는 1.5m 이상이지만 공간적 변동을 고려한 동상수위높이차의 최소값은 0.46m로 평가되었으므로 동상방지층을 생략할 수 없는 구간에 해당한다.

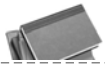


표 A.7 검토구간별 최소 동상수위높이차 결정 및 동상방지층 설치여부 판정

평가구간	시 점	종 점	구간 길이 (m)	동상수위높이차(m)			최소 동상수위 높이차 (m) (Hf,min) (m)	동상 방지층설 치필요성
				측정 위치	최대 표고 위치	최소 표고 위치		
검토구간-1	0 + 320	0 + 420	100	1.13	3.63	1.13	1.13	○
검토구간-2	0 + 860	1 + 120	260	3.96	1.34	0.00	0.00	○
검토구간-3-1	1 + 340	1 + 550	210	3.47	3.06	3.47	3.06	✕
검토구간-3-2	1 + 550	1 + 760	210	3.51	0.93	0.28	0.28	○
검토구간-4	1 + 880	2 + 180	300	3.73	4.82	2.60	2.60	✕
검토구간-5	2 + 820	2 + 980	160	3.33	0.99	0.46	0.46	○
검토구간-6-1	3 + 260	3 + 550	290	3.52	8.39	10.69	3.52	✕
검토구간-6-2	3 + 550	3 + 840	290	4.46	7.28	4.46	4.46	✕
검토구간-7-1	5 + 480	5 + 790	310	5.78	5.78	3.46	3.46	✕
검토구간-7-2	5 + 790	6 + 100	310	4.56	4.56	4.56	4.56	✕
검토구간-8-1	7 + 420	7 + 710	290	1.60	1.33	1.60	1.33	○
검토구간-8-2	7 + 710	8 + 000	290	0.53	2.53	0.00	0.00	○

A.4 노상토의 특성을 고려한 동상방지층 설치구간 판정

동상방지층 설치 유무를 판단하기 위한 절차로서 노상토의 0.08mm 통과율에 따른 동상민감도를 결정한다. 동상민감도는 계획고 하부의 시추공 샘플을 이용한 체가름 시험으로 0.08mm 통과율을 결정하며, 계획고에 암반이 발생하는 경우 및 토사의 경우 0.08mm 통과율이 8% 이하인 경우에는 동상방지층을 생략한다. 동상민감도 판단을 위한 구간은 최대 300m를 기준으로 하며, 구간이 300m 이상인 경우 구간 시점으로부터 300m 간격으로 분할하여 동상민감도를 결정한다.

300m 이내인 구간에서의 입도분석이 2개 이상이고 0.08mm 통과율이 8% 초과 및 이하로 상이하게 나타나는 경우에는 0.08mm 통과율이 높은 시험결과를 이용한다. 땅깍기 구간의 동상민감도는 시추조사 시 노체 상단면 하부 1m 이내에서 채취된 시료를 사용한 입도분석 결과를 이용한다.

노상토의 동상민감도 결정을 위한 각 구간별 노상토의 종류 및 0.08mm 통과율은 표 A.8과 같이 나타났다.

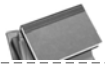
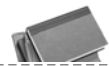


표 A.8 동상방지층 설치여부 판정을 위한 노상토 특성 조사 결과

평가구간	시 점	종 점	BH	노상토 특성	0.08mm 통과율(%)	동상방지층 설치필요성
검토구간-1	0 + 320	0 + 420	BH-1	SM	19.5	○
검토구간-2	0 + 860	1 + 120	BH-2	SM	14.2	○
검토구간-3-1	1 + 340	1 + 550	BH-3	암반	—	✕
검토구간-3-2	1 + 550	1 + 760	BH-4	SW-SM	6.5	✕
검토구간-4	1 + 880	2 + 180	BH-5	SP-SM	15.2%	○
검토구간-5	2 + 820	2 + 980	BH-6	GP	3.6%	✕
검토구간-6-1	3 + 260	3 + 550	BH-7	SP-SM	7.8%	✕
검토구간-6-2	3 + 550	3 + 840	BH-8	SM	22.3%	○
검토구간-7-1	5 + 480	5 + 790	BH-9	SP-SM	11.5%	○
검토구간-7-2	5 + 790	6 + 100	BH-10	SM	13.8%	○
검토구간-8-1	7 + 420	7 + 710	BH-11	SM	24.1%	○
검토구간-8-2	7 + 710	8 + 000	BH-12	SM	20.5%	○

각 구간의 노상토 특성을 고려한 동상방지층 설치구간 판정은 아래와 같다.

- ① 구간 1은 대부분 땅깍기 구간으로 계획고 하부에서 채취된 교란시료의 입도분석 결과 0.08mm 통과율이 8%를 초과하므로 동상방지층을 설치해야 하는 구간이다.
- ② 구간 2는 일부 땅깍기와 흙쌓기가 교차되는 구간으로, 시추 조사시 0.08mm 통과율이 8%를 초과하므로 동상방지층을 설치해야 하는 구간이다.
- ③ 구간 3은 땅깍기 구간으로, 암반과 0.08mm 통과량이 8% 이하인 양질의 노상토로 구성되어 있으므로 동상방지층은 생략된다.
- ④ 연장 300m인 구간 4는 땅깍기와 흙쌓기가 교차되며, 흙쌓기 높이가 낮은 구간에서 시추조사가 이루어졌고, 0.08mm 통과량은 8% 이하이다. 이 구간의 흙이 동일한(비슷한) 것으로 판단되고, 땅깍기부의 흙을 유용하여 흙쌓기를 하는 경우 동상방지층을 생략한다.



- ⑤ 구간 5는 양질의 토사로 이루어진 땅깍기 구간으로 0.08mm 통과율은 8% 이하이므로 동상방지층을 생략한다.
- ⑥ 구간 6은 땅깍기와 흙쌓기가 교차되는 연장 580m 구간으로 구간 시점으로부터 290m 구간과 이후 290m 구간으로 분리하여 검토한다. 두 공의 시추 및 체가름 시험결과, 앞 구간은 0.08mm 통과율이 8% 이하이므로 동상방지층을 생략하며, 뒷 구간은 0.08mm 통과율이 8% 초과이므로 동상방지층을 설치해야 하는 구간이다.
- ⑦ 구간 7은 연장 620m 구간으로 구간 시점으로부터 310m 구간과 이후 310m 구간을 분리하여 검토한다. 이 구간은 계획고와 지반고가 거의 동일한 지형으로 두 공의 시추공에 대한 체가름 시험결과, 0.08mm 통과율은 8% 초과하므로 동상방지층을 설치해야 하는 구간이다.
- ⑧ 구간 8 또한 연장 580m 구간으로 290m 씩 분리하여 검토한다. 해당 구간은 전체적으로 대부분 흙쌓기 구간으로 높이가 낮으며, 재료는 토취장에서 운반된 것으로 토취장 시료의 0.08mm 통과율이 8%를 초과하므로 동상방지층을 설치해야 한다.

A.5 구조적 능력을 고려한 동상방지층 결정

포장 설계 단면은 앞에서 제시된 설계 구간의 일반적인 특성과 A.1.2의 설계 동결깊이 그리고 표 A.9의 설계 기본 조건으로 설계할 수 있다. 이와 같은 조건을 이용하여 포장 설계 단면을 결정한 결과, 표 A.9와 같이 동상방지층을 300mm를 설치해야하는 것으로 나타났다. 동상방지층 설치구간에 대해서는 동상방지층의 구조적 효과를 고려하여 포장 단면을 조정한다.

동상방지층의 구조적 효과는 (식 A.7)을 이용하여 계산할 수 있으며, 동상방지층의 구조적효과에 따라서 구조적으로 고려 가능한 동상방지층의 두께도 달라진다. 포장 설계 단면에서 결정된 포장 층의 두께를 (식 A.7)에 적용한 결과를 (식 A.8)에서 보여주고 있으며, $\Delta BDI(\%)$ 가 17%로 나타났다. (식 A.8)로 계산된 $\Delta BDI(\%)$ 17%는 현장 데이터를 이용하여 개발된 예측 모형의 결과로 표 A.9에 제시된 단면에 동상방지층을 300mm 시공하면 동상방지층이 전체 포장층에 대하여 $\Delta BDI(\%)$ 지수로 17%만큼 구조적으로 영향을 미친다는 것이다.

따라서, 포장 설계 단계에서 $\Delta BDI(\%)$ 가 17%로 나타나는 동상방지층의 두께를 구하여야 하며, 그 두께만큼은 구조적층으로 고려하여 설계를 수행해야한다. 동상방지층에서 구조적으로 고려해야하는 두께는 구조해석 프로그램으로 (식 A.9)에 해당되는 위치에서의 처짐량을 구하고, (식 A.9)와 (식 A.10)을 이용하여 $\Delta BDI(\%)$ 를 계산한다.

그림 A.3은 구조해석 프로그램을 이용하여 계산된 동상방지층 두께에 따른 $\Delta BDI(\%)$ 의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 동상방지층의 두께가 증가될수록 $\Delta BDI(\%)$ 는 증가하는 경향을 보이며, $\Delta BDI(\%)$ 가 17%로 계산되는 동상방지층의 두께를 찾을 수 있다. 본 예제에서는 동상방지층 전체 두께 300mm중 약 70mm만 구조적으로 고려 가능한 동상방지층의 두께로 나타났다.

$$BDI = D30 - D65 \quad (\text{식 A.9})$$

여기서, $D30$ = 재하판으로부터 300mm 떨어진 지점의 처짐

$D65$ = 재하판으로부터 650mm 떨어진 지점의 처짐

$$\Delta BDI (\%) = \frac{BDI - BDI^*}{BDI} \times 100 \quad (\text{식 A.10})$$

여기서, BDI = 동상방지층이 없는 구간의 BDI

BDI^* = 동상방지층이 있는 구간의 BDI

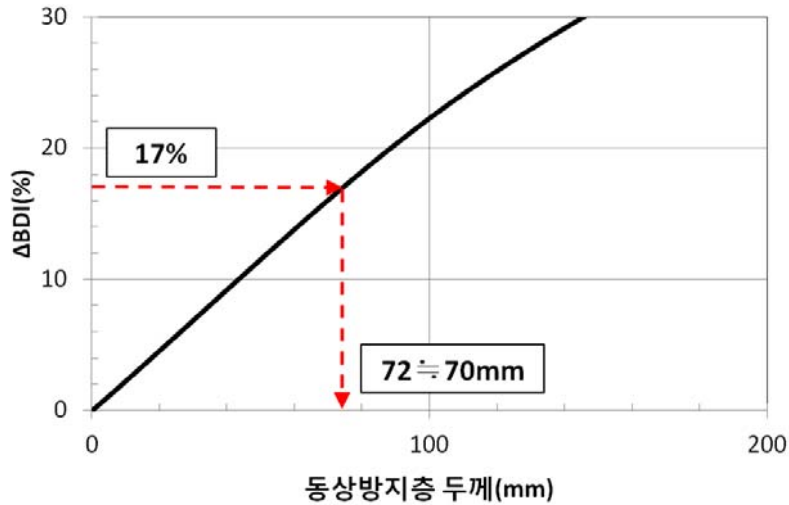
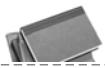


그림 A.3 동상방지층 두께에 따른 ΔBDI(%) 변화

구조 해석으로 결정된 구조적 동상방지층의 두께 70mm를 보조기층의 일부 부분으로 간주하여 공용성 분석을 수행한다. 그림 A.4는 동상방지층의 구조적 특성을 고려한 공용성 분석 결과를 보여주고 있다. 그림 A.4의 (A)에서 보듯이 기본 단면으로 공용성 분석을 수행하면 설계수명이 10년으로 나타난 것을 확인 할 수 있다. 하지만, 그림 A.4의 (B)와 같이 구조적으로 고려한 동상방지층의 두께 70mm를 구조층으로 고려하여 공용성 분석을 수행하면 설계수명이 12년으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 설계수명 10년으로 설계할 경우에는 포장층의 두께를 감소시켜 재설계를 실시해야하며, 재설계를 수행할 때는 경제성을 고려하여 기층 두께를 감소시켜서 설계수명을 만족시켜야 한다. 그림 A.4의 (C)는 재설계 결과를 보여주고 있으며, 기층 두께를 약 10mm 감소시키면 설계수명 10년을 만족하는 것으로 나타났다.

그림 A.4에서 동상방지층의 구조적 효과를 고려하기 전과 후의 전체 포장단면의 두께는 750mm로 변화가 없다. 이런 결과는 공용성을 고려하여 기층 두께 10mm를 감소시키고 동상방지층의 두께를 10mm 증가 시켰기 때문이다. 동상방지층은 구조적 효과만 있는 것이 아니라 기능적 효과도 동시에 가지고 있기 때문이다. 단순히 공용성을 만족시키기 위하여

기층 두께만 감소시키면, 전체 두께가 740mm로 동결심도 보다 낮게 되어 겨울철에 포장 파손을 야기시키는 원인이 되기 때문이다. 따라서, 공용수명을 만족시키기 위하여 기층 두께를 감소시킬 경우에는 반드시 감소시키는 두께만큼 동상방지층의 두께를 증가시켜서 포장층의 구조적 효과뿐만이 아니라 기능적 효과도 만족시켜야한다.

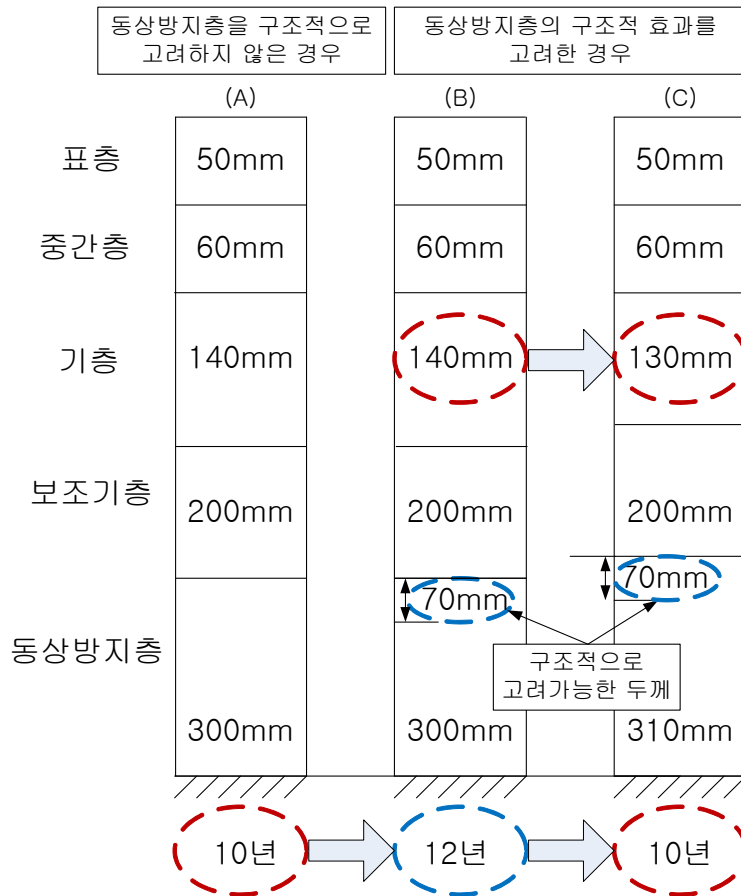
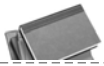


그림 A.4 동상방지층의 구조적 효과를 고려한 포장 설계 결과



A.6 동상방지층 설계결과 요약

동상방지층 설계 검토결과를 정리하면 다음과 같다.

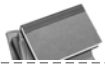
- (1) 설계구간의 교통량 등을 고려한 포장단면 설계 결과 표층 50mm, 중간층 60mm, 기층 140mm, 보조기층 200mm로 결정되었다.
- (2) 설계동결깊이가 750mm로 결정되어, 300mm의 동상방지층이 필요한 것으로 결정되었다.
- (3) 흙쌓기 높이를 고려하여 흙쌓기 높이 2m 이상의 구간과 2m 미만 구간을 구분하여 결정하였다. 흙쌓기 높이 2m 이상의 구간에 대해서는 동상방지층을 생략하고, 2m 미만 구간을 설정하여 동상수위높이차, 노상토 조건에 따른 동상방지층 필요성 여부를 판정하여 표 A.10의 결과를 얻었다.

표 A.10 검토구간의 동상방지층 필요성 여부 판정

검토구간	시 점	종 점	구간길이 (m)	동상방지층 설치 필요성			
				판정기준			최종 판정
				노상토 암반 구간	노상토 0.08m m 통과율	동상 수위 높이차	
검토구간 - 1	0 + 320	0 + 420	100	—	○	○	○
검토구간 - 2	0 + 860	1 + 120	260	—	○	○	○
검토구간-3-1	1 + 340	1 + 550	210	✕	—	✕	✕
검토구간-3-2	1 + 550	1 + 760	210	—	✕	○	✕
검토구간 - 4	1 + 880	2 + 180	300	—	○	✕	✕
검토구간 - 5	2 + 820	2 + 980	160	—	✕	○	✕
검토구간-6-1	3 + 260	3 + 550	290	—	✕	✕	✕
검토구간-6-2	3 + 550	3 + 840	290	—	○	✕	✕
검토구간-7-1	5 + 480	5 + 790	310	—	○	✕	✕
검토구간-7-2	5 + 790	6 + 100	310	—	○	✕	✕
검토구간-8-1	7 + 420	7 + 710	290	—	○	○	○
검토구간-8-2	7 + 710	8 + 000	290	—	○	○	○

(4) 동상방지층이 설치되는 구간에서 동상방지층의 구조적 능력을 고려하여 포장단면을 조정한 결과, 표층 50mm, 중간층 60mm, 기층 130mm, 보조기층 200mm, 동상방지층 310mm로 결정되었다.

(5) 동상방지층설치가 필요한 구간은 검토구간-1, 검토구간-2, 검토구간-8-1, 검토구간-8-2으로 총연장 940m 이다. 본 구간에 대해서는 표층 50mm, 중간층 60mm,



기층 130mm, 보조기층 200mm, 동상방지층 310mm를 적용한다. 그 외의 모든 구간에서는 동상방지층을 생략하여, 표층 50mm, 중간층 60mm, 기층 140mm, 보조기층 200mm를 적용한다. 단, 교량, 터널 등 구조물 구간에 대해서는 별도의 포장단면이 설계된 경우를 따른다. 정리하면 표 A.11과 같다.

표 A.11 동상설계를 고려한 토공구간 구간별 포장단면

구 분		적용 포장단면	비고
토공 구간	검토구간-1 검토구간-2 검토구간-8-1 검토구간-8-2	표층 50mm 중간층 60mm 기층 130mm 보조기층 200mm 동상방지층 310mm	동상방지층 적용
	이외의 모든 토공구간	표층 50mm 중간층 60mm 기층 140mm 보조기층 200mm	동상방지층 생략

참 여 진

집필진

이석근	경희대학교 교수
전종명	경희대학교 연구원
김부일	한국건설기술연구원 연구위원
박희문	한국건설기술연구원 연구위원
이문섭	한국건설기술연구원 전임연구원
정문경	한국건설기술연구원 연구위원
이용안	한국건설기술연구원 수석연구원
권기철	동의대학교 교수
이경하	한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원
박성완	단국대학교 교수
허태영	한국해양대학교 교수
오세봉	영남대학교 교수
신은철	인천대학교 교수
조규태	인천대학교 연구교수
진정훈	(주)도화엔지니어링 이사
남영국	(주)한맥기술 연구원장
김낙석	경기대학교 교수

자문위원(가나다순)

권수안	한국건설기술연구원 수석위원
김영석	한국건설기술연구원 연구위원
박광현	니스코 E&C 부회장
신오철	한진중공업 상무
엄인섭	한국도로공사 팀장
임광수	국토해양부 서기관
최준성	인덕대학 교수

■ 국토해양부

이승호 국토해양부 도로정책관
손종철 국토해양부 간선도로과 과장
백봉기 국토해양부 간선도로과 사무관
김태호 국토해양부 간선도로과 담당

도로 동상방지층 설계지침

- 행정간행물 등록번호 /
- 발행일 / 2012. 8.
- 발행처 / 국토해양부
- 인쇄처 /