

한랭지역(강원권)에서의 도로터널 라이닝부 피해 현황 연구

A Study on Current Extent of Damage of Road Tunnel Lining in Cold Regions (Gangwon-do)

진 현 우¹⁾ · 황 영 철[†]

Hyunwoo Jin · Youngcheol Hwang

Received: November 3rd, 2016; Revised: November 10th, 2016; Accepted: December 2nd, 2016

ABSTRACT : Due to low annual average temperature, road tunnel lining in domestic cold region (Gangwon province) experiences durability problems. The financial and human damage due to cracks, breakout, exfoliation and water leakage increases every year. However, domestic research on effect of temperature on road tunnel lining damage is insufficient. Thus, this research has investigated 70 tunnels located in cold region (Gangwon-do) to analyze damage status. Furthermore, by contrasting damage on tunnels in relatively warm Gangneung area with those in relatively cold Hongcheon area, the effect of temperature on road tunnel lining damage was analyzed.

Keywords : Cold regions, Tunnel lining, Lining cracks, Statistical analysis, Damage pattern

요 지 : 국내 한랭지역(강원권)의 경우 낮은 연평균 기온에 의한 도로터널 라이닝 내구성에 문제가 발생하게 된다. 이에 따라 라이닝에 균열, 망상균열, 박락, 박리, 누수 등의 문제가 발생하며, 해마다 경제적 손실 및 인명피해가 증가하고 있는 실정이다. 하지만 국내에서는 기온에 따른 도로터널 라이닝의 피해에 대한 연구는 미비한 상태이다. 따라서, 본 논문에서는 한랭지(강원권) 터널 70개를 조사함으로써 현재 한랭지역의 피해현황을 분석하였고, 같은 한랭지역 중 비교적 따뜻한 기온을 가지는 강릉 지역과 기온이 낮은 홍천 지역의 터널 라이닝 피해를 비교함으로써 기온이 도로터널 라이닝에 미치는 영향을 분석하였다.

주요어 : 한랭지역, 터널 라이닝, 라이닝 균열, 통계분석, 피해유형

1. 서 론

강원도는 우리나라 가장 북쪽에 위치하고 있고 지대가 높아 연중 기온이 영하로 내려가는 날이 많으며, 이에 따라 다른 지역의 도로터널에 비해 낮은 연평균 온도를 유지, 터널 라이닝의 온도 차이에 따른 내구성에 문제가 발생하게 된다.

국내에서의 한랭지역(강원권)의 도로터널 라이닝부 피해에 대한 연구는 체계적으로 조사되거나 데이터가 축적되어 있지 않으며, 국외의 연구 결과를 국내 한랭지역 도로터널 라이닝에 적용하는데는 한계가 있다. 국내 터널 내 동결현상의 발생원인은 크게 두 가지 유형으로 구분할 수 있다. 터널내부 방수막의 손상으로 누수된 지하수가 시공이음부로 누수되어 고드름이 발생하는 경우와 방수막의 손상이 없는데도 불구하고 방수막 후면에서 지하수가 동결되어 원활한 배수를 방해하여 동결현상이 확대되어 국부적인 압력이 터널 천장 또는 측벽부근에 발생하여 균열을 발생시키는 경우

이다(Korea Expressway Corporation Research Institute, 2013). Kim & Shim(2013)은 이상저온으로 인한 터널 동결 사례를 연구한 결과, 균열, 축압발생 및 압출, 고드름, 도로 노면에서의 포장체의 동상 등이 구조물 손상의 원인이 되는 것으로 조사되었다.

국외의 경우 Zhang et al.(2004)은 한랭지역 터널에서의 동결-해동의 사이클에 대한 암반의 손상에 대해 연구하였으며, 반복되는 동결-융해에 대한 강도 변화, 파손 비율을 제시하였다. Asakura & Kojima(2003)은 일본의 철도터널 라이닝에 대한 일반적인 변형을 제안하였다. Parkinson & Ekes(2008)은 GPR(Ground penetrating radar)을 이용하여 콘크리트 터널 라이닝의 열화 및 공극을 찾고자 하였으며, 콘크리트 라이닝 두께뿐만 아니라 손상의 위치 및 방향 등을 확인하였다.

본 연구에서는 국내 도로터널 라이닝부의 동결피해 현황과 피해유형 및 발생원인 등을 파악하기 위해 한랭지역(강

1) Department of Civil Engineering, Sang Ji University

† Department of Civil Engineering, Sang Ji University (Corresponding Author : ychwang@sangji.ac.kr)

원권) 도로터널의 정밀안전진단보고서, 종합보고서, 정밀점검보고서((주)경원엔지니어링 건축사사무소, 2015.06; (주)경원엔지니어링 건축사사무소, 2015.09a; (주)경원엔지니어링 건축사사무소, 2015.09b; (주)경원엔지니어링 건축사사무소, 2015.09c; (주)덕산, 2006.09; (주)대호이엔씨, 2009.06; (주)대호이엔씨, 2012.07a; (주)대호이엔씨, 2012.07b; (주)대호이엔씨, 2013.09; (주)일신하이텍, 2008.10; (주)위드이엔오, 2014.07; (주)위드이엔오, 2015.07a; (주)위드이엔오, 2015.07b; (주)진화기술공사, 2015.06; (주)진화기술공사, 2015.10; (주)한국종합시설안전, 2014.09a; (주)한국종합시설안전, 2014.09b; (주)한국종합시설안전, 2015.07; (주)한

길종합엔지니어링, 2015.06; (주)화신엔지니어링, 2014.07; (주)화신엔지니어링, 2015.06)를 수집 하였고, 이를 분석하여 한랭지역(강원권) 도로터널 라이닝부의 동결피해 현황을 분석하였다.

2. 한랭지역 대상 터널 현황

본 연구에 사용된 한랭지역(강원권) 대상 터널은 국토교통통계누리의 정보를 통해 터널 관리주체가 ‘도로 교량 및 터널 현황 정보 시스템’에 직접 입력한 터널 자료를 바탕으로

Table 1. Tunnel information of research area in Gangwon

							unit: (m)
	Tunnel name	Route	Location (GangWon-Do)	Length	Width	Height	Note
Hong Cheon	GaRakJaeTunnel	NationalHighway56	HongCheon Hwachon-myeon PungCheon-ri	590	11.3	6.1	
	GongLiTunnel	NationalHighway46	YangGu YangGu-eup UngJin-ri	1,650	11.5	7.3	
	NeuRatJaeTunnel	NationalHighway56	HongCheon HwaChon-myeon PungCheon-ri	660	11.3	6.1	
	MalGoGaeTunnel	NationalHighway5	ChunCheon SaBuk-myeon WonPyeong-ri	637	7.8	6.7	
	MaeJiTunnel(up)	NationalHighway19	Wonju Gwirae-myeon Gwirae-ri	690	9.6	6.7	
	MaeJiTunnel(down)	NationalHighway19	Wonju Gwirae-myeon Gwirae-ri	661	9.6	6.7	
	MyeoNeuLeeTunnel(up)	NationalHighway44	HongCheon Nam-myeon WolCheon-ri	542	11.3	6.6	
	MyeoNeuLeeTunnel(down)	NationalHighway44	HongCheon Nam-myeon WolCheon-ri	493	11.3	6.6	
	MoonJaeTunnel	NationalHighway42	HoengSeong AnHeung-myeon SangAn-ri	620	9	6.1	
	BaeHuRyeongTunnel	NationalHighway46	ChunCheon SinBuk-eup Yupo-ri	5,057	11	10.2	
	BongSanTunnel(up)	NationalHighway5	Wonju BongSan-dong	870	9.8	4.8	
	BongSanTunnel(down)	NationalHighway5	Wonju BongSan-dong	870	9.8	4.8	
	SamMaChTunnel(up)	NationalHighway5	HoengSeong GongGeun-myeon SangChangBong-ri	780	11.3	6.7	
	SamMaChTunnel(down)	NationalHighway5	HoengSeong GongGeun-myeon SangChangBong-ri	780	11.3	6.7	
	SolChiJaeTunnel	NationalHighway56	HongCheon Hwachon-myeon JangPyeong-ri	540	9	6.6	
	SuInTunnel	NationalHighway46	ChunCheon Nam-myeon ChuGok-ri	2,925	9	7.3	
	YangGuTunnel	NationalHighway46	YangGu Nam-myeon Won-ri	237	8.6	6.1	
	UnGyeTunnel(up)	NationalHighway19	Wonju Gwirae-myeon UnGye-ri	494	9.6	6.7	
	UnGyeTunnel(down)	NationalHighway19	Wonju Gwirae-myeon UnGye-ri	475	9.6	6.7	
	WoongJin 1Tunnel	NationalHighway46	YangGu YangGu-eup UngJin-ri	385	10	7.4	
	WoongJin 2Tunnel	NationalHighway46	YangGu YangGu-eup UngJin-ri	590	12.5	7.4	
	WoongJinTunnel	NationalHighway46	YangGu YangGu-eup Suin-ri	1,225	9	7.4	
	Uiam(Old)Tunnel	NationalHighway46	ChunCheon Sin-dong Uiam	290	11.3	6.8	
	Uiam(New)Tunnel	NationalHighway46	ChunCheon Sin-dong Uiam	306.6	11.3	6.8	
	InJeTunnel(up)	NationalHighway44	InJe InJe-eup NamBuk-ri	922	8.6	4.8	
	InJeTunnel(down)	NationalHighway44	InJe InJe-eup NamBuk-ri	977	8.6	4.8	
	JangJeonTunnel(up)	NationalHighway5	HongCheon HongCheon-eup JangJeonPyeong-ri	546	7.3	6.7	
	JangJeonTunnel(down)	NationalHighway5	HongCheon HongCheon-eup JangJeonPyeong-ri	414	7.3	6.7	
	CheolJeongTunnel(up)	NationalHighway44	HongCheon DuChon-myeon CheolJeong-ri	326	9	6.7	
	CheolJeongTunnel(down)	NationalHighway44	HongCheon DuChon-myeon CheolJeong-ri	338	9	6.7	
	ChuGokTunnel	NationalHighway5	ChunCheon Nam-myeon ChuGok-ri	860	11.3	6.1	
	HwaCheonTunnel	NationalHighway5	HwaCheon HwaCheon-eup SangSur-ri	620	7.5	6.7	
	HoeongSeongTunnel(up)	NationalHighway5	HoengSeong HoengSeong-eup GalPung-ri	540	11.3	6.7	
	HoeongSeongTunnel(down)	NationalHighway5	HoengSeong HoengSeong-eup GalPung-ri	544	11.3	6.7	

Table 1. Tunnel information of research area in Gangwon (Continued)

unit: (m)

	Tunnel name	Route	Location (GangWon-Do)	Length	Width	Height	Note
Jeong Seon	KagHanTunnel(up)	NationalHighway38	YeongWol Nam-myeon GwangCheon-ri	950	9.8	6.8	
	KagHanTunnel(down)	NationalHighway38	YeongWol Nam-myeon GwangCheon-ri	915	9.8	6.8	
	GoHanTunnel(up)	NationalHighway38	JeongSeon GoHan-eup GoHan-ri	505	9.3	6.7	
	DuMunDongJaeTunnel	NationalHighway38	JeongSeon GoHan-eup GoHan-ri	2,470	10.7	7.2	
	DuMunDongJae2Tunnel	NationalHighway38	JeongSeon GoHan-eup GoHan-ri	1,363	10.6	4.5	
	MattDunJaeTunnel	NationalHighway42	PyeongChang PyeongChang-eup NoRon-ri	640	9	6.1	
	BanSongTunnel(up)	NationalHighway31	YeongWol YeongWol-eup YeonHa-ri	220	10	6.7	
	BangJeolTunnel(up)	NationalHighway38	YeongWol YeongWol-eup BangJeol-ri	200	9.8	6.8	
	BangJeolTunnel(down)	NationalHighway38	YeongWol YeongWol-eup BangJeol-ri	205	9.8	6.8	
	BongRaeTunnel(up)	NationalHighway38	YeongWol YeongWol-eup YeongHeung-ri	913	9.8	6.8	
	BongRaeTunnel(down)	NationalHighway38	YeongWol YeongWol-eup YeongHeung-ri	969.5	9.8	6.8	
	BiHaengGiJaeTunnel	NationalHighway42	PyeongChang MiTan-myeon BaeGun-ri	520	9	6.1	
	SaBuk1Tunnel(down)	NationalHighway38	JeongSeon SaBuk-eup SaBuk-ri	258	9.3	6.7	
	SaBuk2Tunnel(up)	NationalHighway38	JeongSeon SaBuk-eup SaBuk-ri	859	9.3	6.7	
	SaBuk2Tunnel(down)	NationalHighway38	JeongSeon SaBuk-eup SaBuk-ri	865	9.3	6.7	
	SeokHang1Tunnel(up)	NationalHighway38	YeongWol YeongWol-eup YeonHa-ri	990	10.3	6.8	
	SeokHang1Tunnel(down)	NationalHighway31	JeongSeon GoHan-eup GoHan-ri	980	10.3	6.8	
	YeongWol1Tunnel(up)	NationalHighway38	YeongWol YeongWol-eup BangJeol-ri	460.5	9.8	6.8	
	YeongWol1Tunnel(down)	NationalHighway38	YeongWol YeongWol-eup BangJeol-ri	350	9.8	6.8	
	YeongWol2Tunnel(up)	NationalHighway38	YeongWol YeongWol-eup YeongHeung-ri	948	9.8	6.8	
YeongWol2Tunnel(down)	NationalHighway38	YeongWol YeongWol-eup YeongHeung-ri	955	9.8	6.8		
JeungSanTunnel(up)	NationalHighway38	JeongSeon Nam-myeon MurReung-ri	503	9.6	6.7		
JeungSanTunnel(down)	NationalHighway38	JeongSeon Nam-myeon MurReung-ri	484.7	9.6	6.7		
Gang Neung	DongHae1Tunnel	NationalHighway46	GangNeung GangDong-myeon ImGok-ri	522	9.8	6.8	
	DongHae2Tunnel	NationalHighway46	GangNeung GangDong-myeon SanSeongU-ri	449	9.8	6.8	
	WolCheonTunnel(up)	NationalHighway46	SamCheok WonDeok-eup WolCheon-ri	145	10.2	6.8	
	WolCheonTunnel(down)	NationalHighway46	SamCheok WonDeok-eup WolCheon-ri	205.5	10.2	6.8	
	JangHoTunnel(up)	NationalHighway46	SamCheok WonDeok-eup GalLam-ri	915	7.5	6.8	
	JangHoTunnel(down)	NationalHighway46	SamCheok WonDeok-eup GalLam-ri	915	7.5	6.8	
	HanChiTunnel(up)	NationalHighway46	SamCheok GeunDeok-myeon SangMaengBang-ri	565	9.3	6.8	
	HanChiTunnel(down)	NationalHighway46	SamCheok GeunDeok-myeon SangMaengBang-ri	570	9.3	6.8	
	KumKangTunnel	NationalHighway7	GoSeong HyeonNae-myeon MyeongHo-ri	80	7	6	
	YongDeaTunnel(up)	NationalHighway7	InJae Book-myeon HanGye-ri	927	10.5	7.7	
	YongDeaTunnel(down)	NationalHighway7	InJae Book-myeon HanGye-ri	950	10.5	7.7	
	HanGyeTunnel(up)	NationalHighway7	InJae Book-myeon HanGye-ri	1,272	10.3	8	
	HanGyeTunnel(down)	NationalHighway7	InJae Book-myeon HanGye-ri	1,298	10.3	8	

로 강원권의 도로터널을 조사하였으며, 총 128개(고속도로 제외)를 수집하였다. 그중 70개의 도로터널을 대상으로 분석하였으며, 각각 홍천국토관리사무소(도로터널 34개, 국도 5, 19, 42, 44, 46, 56호선), 정선국토관리사무소(도로터널 25개, 국도 31, 38, 42호선), 강릉국토관리사무소(도로터널 13개, 국도 7, 46호선)에서 관리하고 있는 도로터널을 대상으로 분석하였다. 대상 터널의 국토관리사무소별 터널, 연장, 폭, 높이는 다음 Table 1과 같다.

3. 한랭지역(강원권) 도로터널 라이닝부 피해 현황

3.1 강원지역 동결심도

한랭지역 도로터널 라이닝부 피해현황 분석을 위한 대상 터널지역의 동결심도를 조사하였다. 조사한 내용은 2000년~2014년까지의 홍천, 영월, 강릉, 평창, 정선을 중심으로 조사하였으며, 그 결과는 다음 Fig. 1과 같다.

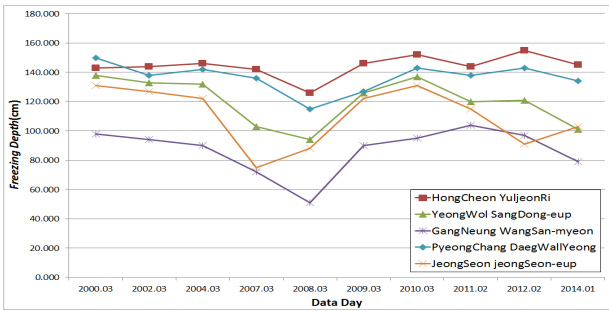


Fig. 1. Freezing depth in Gangwon area (Hongcheon, Yeongwol, Gangneung, Pyeongchang, Jeongseon)

Fig. 1에서 보는 것과 같이 동결심도가 가장 깊은 지역은 홍천, 평창, 영월, 정선, 강릉 순으로 나타났으며, 비교적 가장 동결심도가 깊게 나타난 홍천지역의 최대 동결깊이는 2012년 02월에 155cm, 최저의 경우 2008년 03월에 126cm를 나타내었다. 가장 얇은 동결심도를 나타낸 지역은 강릉이며, 최대 동결깊이는 2011년 02월 104cm, 최저 동결심도는 2008년 03월 51cm를 나타내었다.

3.2 한랭지역(강원권) 도로터널 라이닝부 피해현황

홍천 국토관리사무소의 도로터널의 정밀안전진단보고서, 종합보고서, 정밀점검보고서를 통한 도로터널 라이닝부를 분석한 결과, 피해 개소만 나타나 있는 터널(가락재터널, 느랏재터널)을 제외한 32개소의 결과는 다음 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 보는 것과 같이 홍천지역의 도로터널 라이닝의 경우 균열(중, 사방향)폭이 0.3mm 미만으로 조사된 곳은 총 468개소에서 발생하였으며, 균열의 총 누계길이는 1452.9m로 파악되었다. 균열(중, 사방향)폭이 0.3mm 이상의 경우는 323개소, 길이 1740.9m, 균열(횡방향)폭이 0.3mm 미만은 263

개소, 길이 746.2m, 균열(횡방향)폭 0.3mm 이상의 경우는 54개소, 길이 239.8m로 조사되었다. 그 밖에 망상균열의 경우 19개소, 총면적은 102.88m², 박락은 21개소, 총 면적 11.33m², 박리의 경우 12개소, 총면적은 201.93m², 누수는 39개소, 총면적은 83.11m², 백태 111개소, 총면적은 85.88m², 재료분리의 경우 7개소, 총면적 8.18m², 마지막으로 철근 노출의 경우 23개소, 총면적은 252.78m²로 파악되었다.

정선 국토관리사무소에서 관리하는 도로터널의 정밀안전진단보고서, 종합보고서, 정밀점검보고서를 분석한 결과, 피해 개소만 나타나 있는 터널을 제외한 13개소의 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 보는 것과 같이 정선지역 도로터널의 경우 균열(중, 사방향)폭이 0.3mm 미만의 경우는 총 464개소에서 발생하였으며, 총 길이는 641.6m로 조사되었다. 균열(중, 사방향)폭이 0.3mm 이상의 경우는 274개소, 길이 2101m, 균열(횡방향)폭이 0.3mm 미만은 459개소, 길이 546.1m, 균열(횡방향)폭이 0.3mm 이상의 경우 77개소, 길이 121.6m로 파악되었다. 그 밖에 망상균열의 경우 57개소, 총면적은 238.84m², 박락은 17개소, 총면적 3.72m², 박리의 경우 10개소, 총면적은 6.92m², 누수는 21개소, 총면적은 80.8m², 백태 121개소, 총면적은 35.4m², 재료분리의 경우 8개소, 총면적 15.23m², 마지막으로 철근 노출의 경우 9개소, 총면적은 14.43m²으로 파악되었다.

강릉 국토관리사무소에서 관리하는 도로터널의 정밀안전진단보고서, 종합보고서, 정밀점검보고서를 분석한 결과, Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 보는 것과 같이 강릉지역 도로터널의 경우, 균열(중, 사방향)폭이 0.3mm 미만의 경우는 총 339개소에서 발생하였으며, 길이는 2171.3m로 파악되었다. 균열(중, 사방

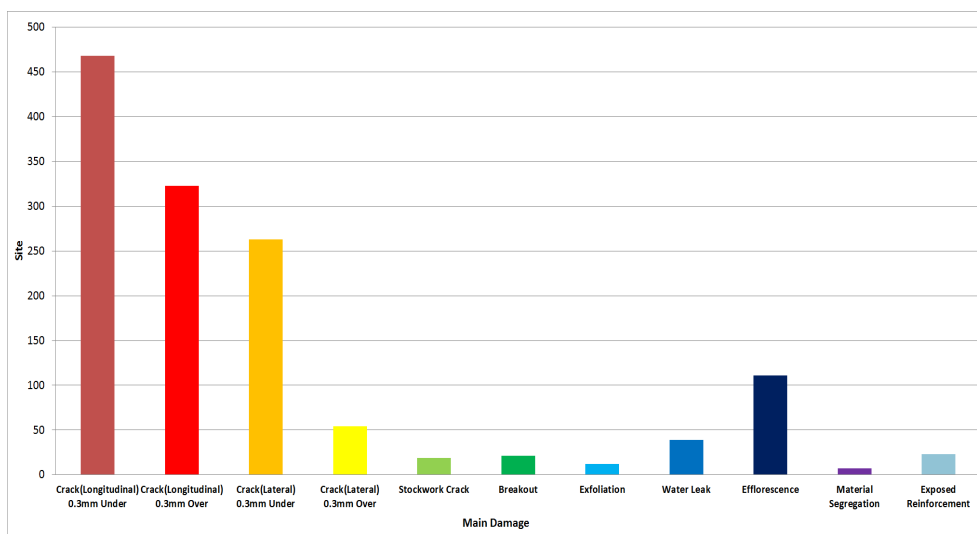


Fig. 2. Damages of tunnel lining in Hongcheon area (32 tunnels)

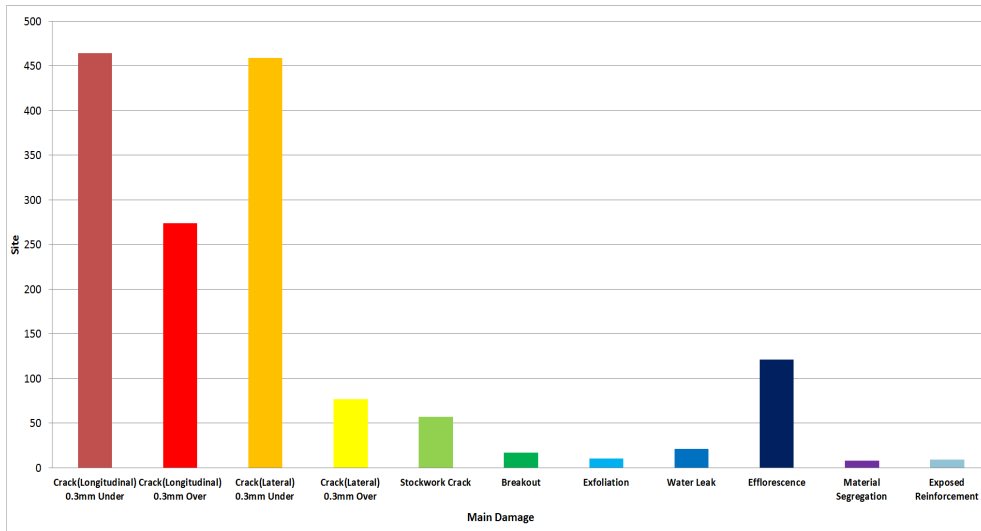


Fig. 3. Damages of tunnel lining in Jeongseon area (13 tunnels)

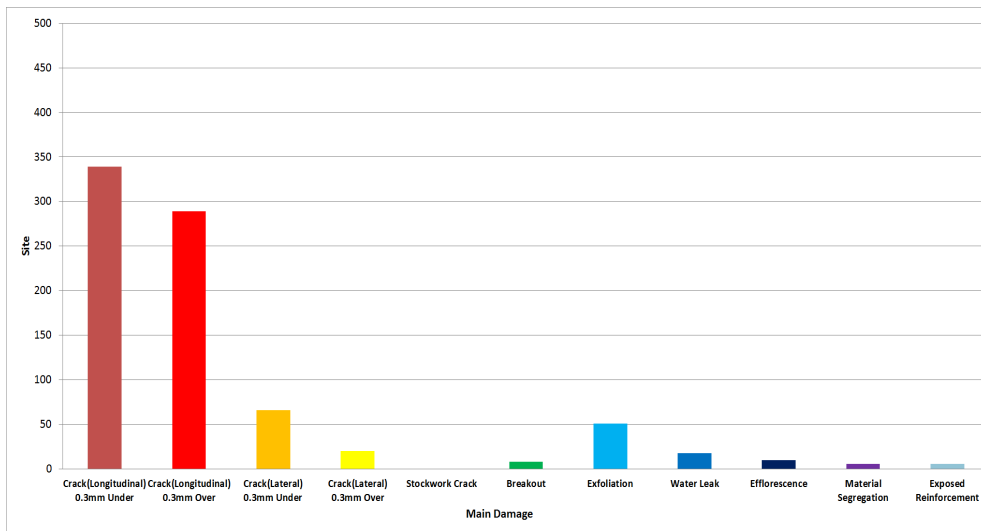


Fig. 4. Damages of tunnel lining in Gangneung area (13 tunnel)

향)폭이 0.3mm 이상의 경우 289개소, 길이 2417.6m, 균열(횡방향)폭이 0.3mm 미만은 66개소, 길이 109m, 균열(횡방향)이 0.3mm 이상의 경우 20개소, 길이 55.1m로 파악되었다. 그 밖에 망상균열의 경우 발생하지 않았으며, 박락은 8개소, 총면적 0.32m², 박리의 경우 51개소, 총면적은 9.75m², 누수는 18개소, 총면적은 24.95m², 백태 10개소, 총면적은 1.99m², 재료분리의 경우 6개소, 총면적 7.43m², 마지막으로 철근 노출의 경우 6개소, 총면적은 2m²로 조사되었다.

3.3 한랭지역(강원권) 도로터널 라이닝부 피해현황 분포 분석

한랭지역의 대상 터널의 라이닝부 피해 분포도를 알아보기 위해 각 터널의 총 연장길이를 1/8로 구분하여 피해 유형을 분석하였다. 터널 내부의 기온은 입출구부와 중앙부의 온

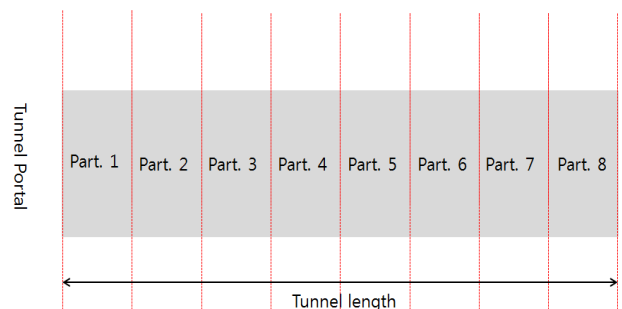


Fig. 5. Division of location for analysis of tunnel lining damage

도 차이가 발생하므로 이에 대한 영향을 분석하고자 하였다.

홍천 국도터널을 대상으로 터널 위치별 피해 유형을 분석하기 위하여 주요 피해 유형인 중, 사 방향 폭 0.3mm 미만의 균열을 위치(part)별로 구분하여 분석한 결과 Part. 1(중, 사

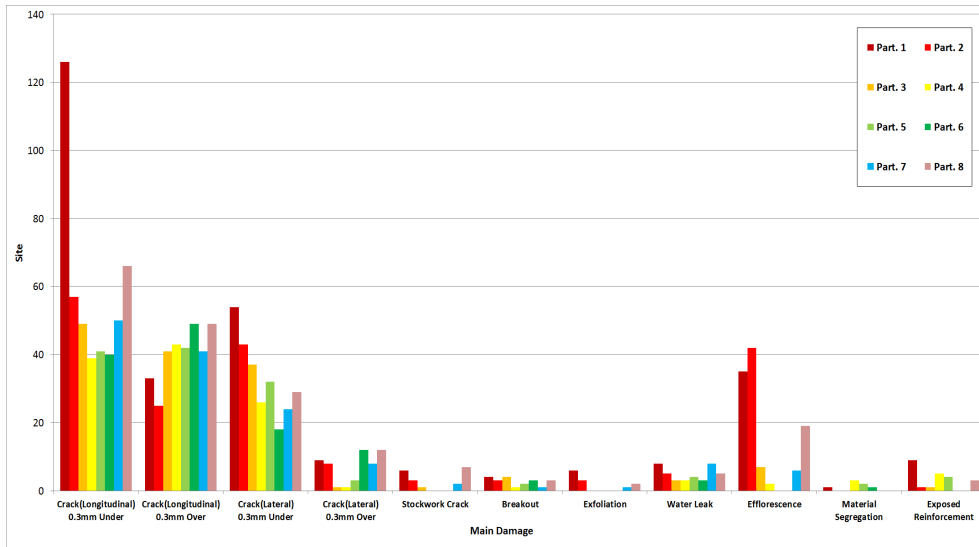


Fig. 6. Damages by location of tunnel lining in Hongcheon area (13 tunnel)

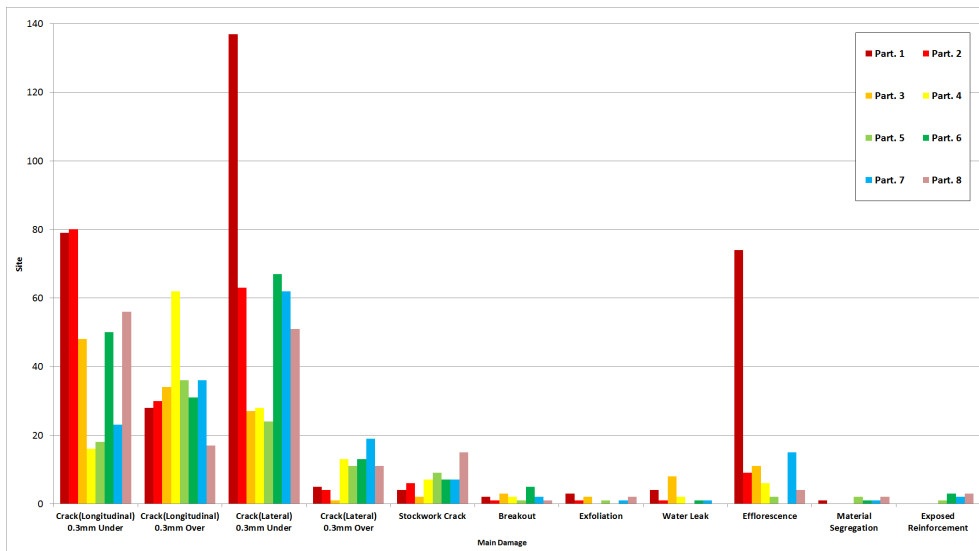


Fig. 7. Damages by location of tunnel lining in Jeongseon area

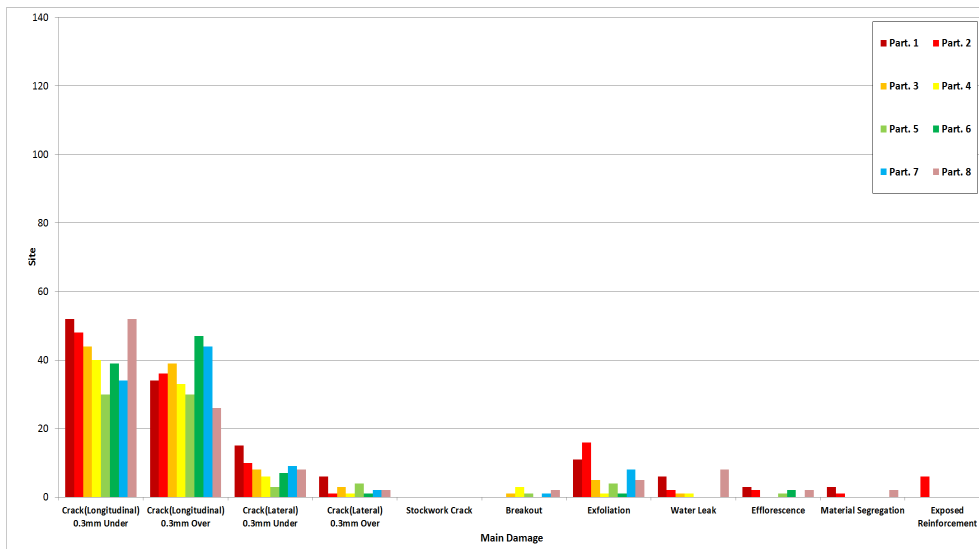


Fig. 8. Damages by location of tunnel lining in Gangneung area

방향으로 0.3mm 미만, 126개소)과 Part. 8(중, 사방향으로 0.3mm 미만, 66개소)에서 가장 많이 발생하는 것으로 나타나 터널 입, 출구부에서 가장 많은 균열이 발생하는 것을 알 수 있다(Fig. 6).

정선 국도터널 Part 별 주요 피해 유형으로는 횡 방향으로 폭 0.3mm 미만의 균열이 많은 것으로 파악되었다. Part. 1(횡 방향으로 0.3mm 미만, 137개소)에서 균열이 가장 많이 발생하는 것으로 나타났으며 그다음으로는 Part. 2(중, 사방향으로 0.3mm 미만, 80개소), Part. 1(중, 사방향으로 0.3mm 미만, 79개소) 순으로 나타났다. 정선 국도터널은 전체적으로 Part. 1, Part. 2에서 가장 많은 손상이 나타나는 것으로 파악되었고 다른 지역과 같이 터널 입출구부 쪽의 손상이 많은 것으로 파악되었다(Fig. 7).

강릉 국도터널의 위치별 주요 피해 유형 역시 중, 사방향의 폭 0.3mm 미만의 균열이 많은 것으로 파악되었다. Part. 1(중, 사방향으로 0.3mm 미만 52개소)과 Part. 8(중, 사방향으로 0.3mm 미만, 52개소)에서 균열이 가장 많이 발생하는 것으로 나타나, 터널 입, 출구부에서 가장 많은 균열이 발생하는 것을 알 수 있다(Fig. 8).

3.4 터널 위치에 따른 라이닝부 피해 분석(홍천, 강릉 지역의 터널 비교)

한랭지역(강원권) 도로터널 라이닝의 피해 현황을 분석한 결과 균열이 가장 많이 발생하였으며, 이에 따라, 강원권 중에서 동결심도가 가장 깊은 홍천지역과 가장 얇은 강릉 주변의 터널을 비교하여 터널 라이닝과 온도와의 관계를 분석하였다. 홍천지역의 터널은 총 4개소로 솔치재 터널, 장전터널(상, 하), 머느리재 터널(상)을 대상으로 하였으며, 강릉지역 4개소 터널로는 동해 1터널, 동해 2터널, 한치터널(상, 하)을 대상으로 비교하였다. 터널의 연장 길이의 경우 500m를 기준으로 하였으며, 강릉지역의 터널의 수가 적어 강릉 지역을 중심으로 가장 근교에 있는 한치터널을 대상으로 포함하였고 그 결과는 다음과 같다(Table 2).

홍천지역의 경우 균열 중에서 중, 사방향 0.3mm 미만의 균열이 26개소로 Part. 1 위치에서 가장 많이 나타났으며, 두 번째로는 가장 많이 나타난 곳이 Part. 8에서 19개소이다. 또한, 모든 균열의 총합은 148개소로 나타났으며, 균열 연장의 경우 281m로 나타났다(Fig. 10).

강릉지역의 경우 균열 중에서 중, 사방향 폭 0.3mm 미만

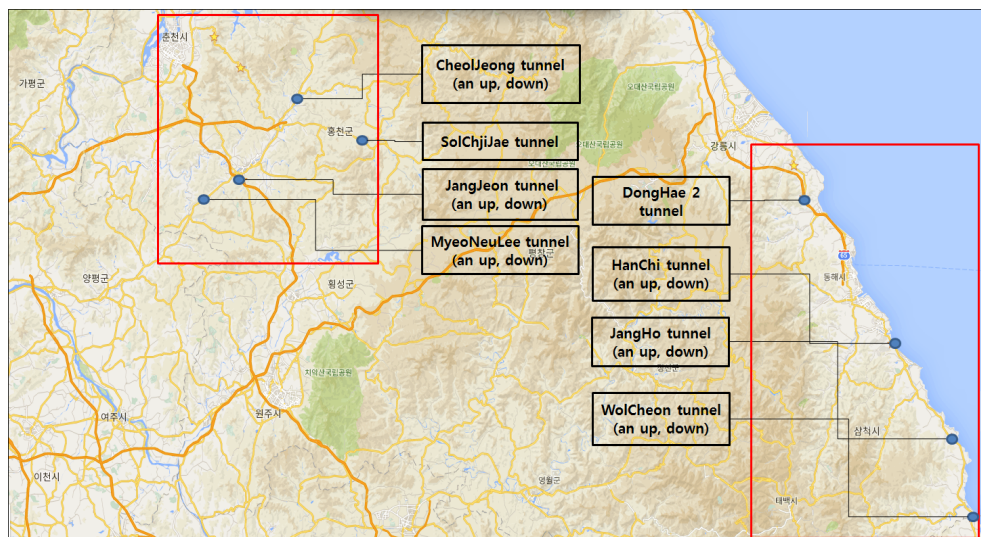


Fig. 9. Tunnel location of Hongcheon and Gangneung area

Table 2. Target tunnel information

							unit: (m)
	Tunnel Name	Route	Location (GangWon-Do)	Length	Width	Height	Note
Hong Cheon	MyeoNeuLeeTunnel(up)	NationalHighway44	HongCheon Nam-myeon WolCheon-ri	542	11.3	6.6	
	SolChiJaeTunnel	NationalHighway56	HongCheon Hwachon-myeon JangPyeong-ri	540	9	6.6	
	JangJeonTunnel(up)	NationalHighway5	HongCheon HongCheon-eup JangJeonPyeong-ri	546	7.3	6.7	
	JangJeonTunnel(down)	NationalHighway5	HongCheon HongCheon-eup JangJeonPyeong-ri	414	7.3	6.7	
Gang Neung	DongHae1Tunnel	NationalHighway46	GangNeung GangDong-myeon ImGok-ri	522	9.8	6.8	
	DongHae2Tunnel	NationalHighway46	GangNeung GangDong-myeon SanSeongU-ri	449	9.8	6.8	
	HanChiTunnel(up)	NationalHighway46	SamCheok GeunDeok-myeon SangMaengBang-ri	565	9.3	6.8	
	HanChiTunnel(down)	NationalHighway46	SamCheok GeunDeok-myeon SangMaengBang-ri	570	9.3	6.8	

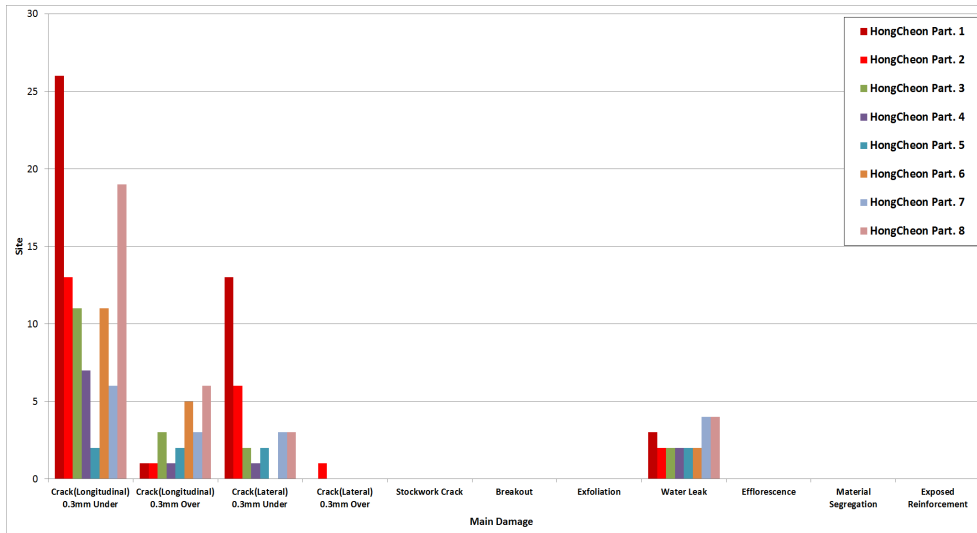


Fig. 10. Damages by location of tunnel lining in Hongcheon area (MyeouNeuLeeTunnel, SolChiJaeTunnel, JangJeonTunnel)

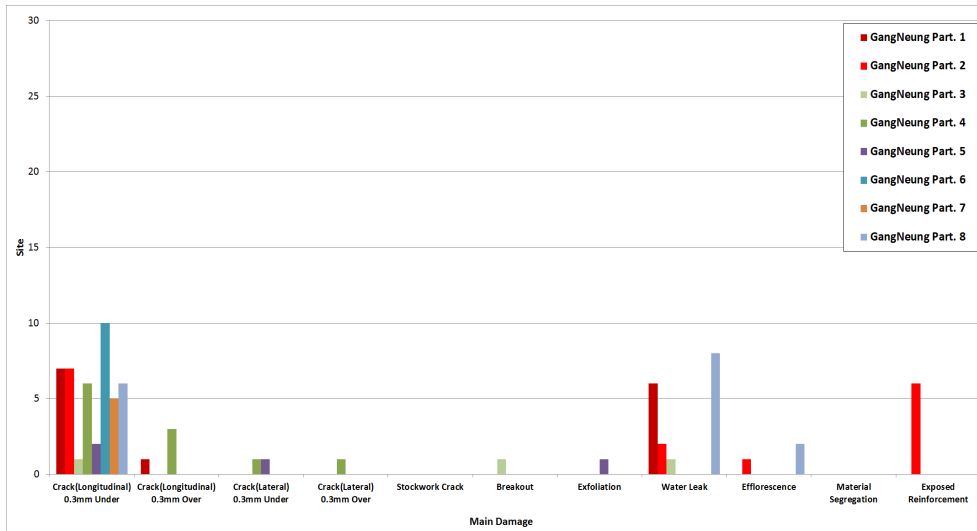


Fig. 11. Damages by location of tunnel lining in Gangneung area (DongHae1Tunnel, DongHae2Tunnel, HanChiTunnel)

이 10개소로 Part. 6에서 가장 많이 나타났으며, 두 번째로는 가장 많이 나타난 곳이 Part. 1에서 7개소로 나타났다. 또한, 모든 균열의 총합은 51개소로 나타났으며, 연장길이의 경우 112.2m를 나타내었다(Fig. 11). 특히 타 지역과 달리 비교적 기온이 높은 강릉지역의 경우 터널의 손상이 터널의 입출구부에 편중되어 있는 경향이 적은 것으로 판단된다.

4. 결과분석 및 고찰

4.1 한랭지역(강원권) 도로터널 라이닝부 피해현황 분포 분석

조사된 전 구간의 도로터널을 터널 내 손상위치로 구분한 Part 별 주요 피해 유형으로 구분한 결과, 균열이 가장 많

았으며 균열 중에서도 종,사 방향으로 0.3mm 미만의 균열이 가장 많이 발생한 것으로 파악되었다. 손상의 위치별로는 Part. 1(중, 사방향으로 0.3mm 미만, 257개소)과 Part. 2(중, 사방향으로 0.3mm 미만, 185개소)에서 균열이 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 Part. 1에서는 백태도 많이 발생하는 것으로 파악되었으며, 기타 전체적인 손상 역시 입구부에서 발생하는 것으로 나타났다(Fig. 12).

이러한 원인은 터널의 입출구부의 경우 외부 기온에 직접적인 영향을 받게 되고, 입출구에서부터 터널 내측으로 갈수록 온도의 저하가 많이 발생하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

4.2 터널 위치에 따른 라이닝부 피해 분석(홍천, 강릉 지역의 터널 비교)

기상청 통계자료(10년)를 이용한 홍천, 강릉 지역의 온도

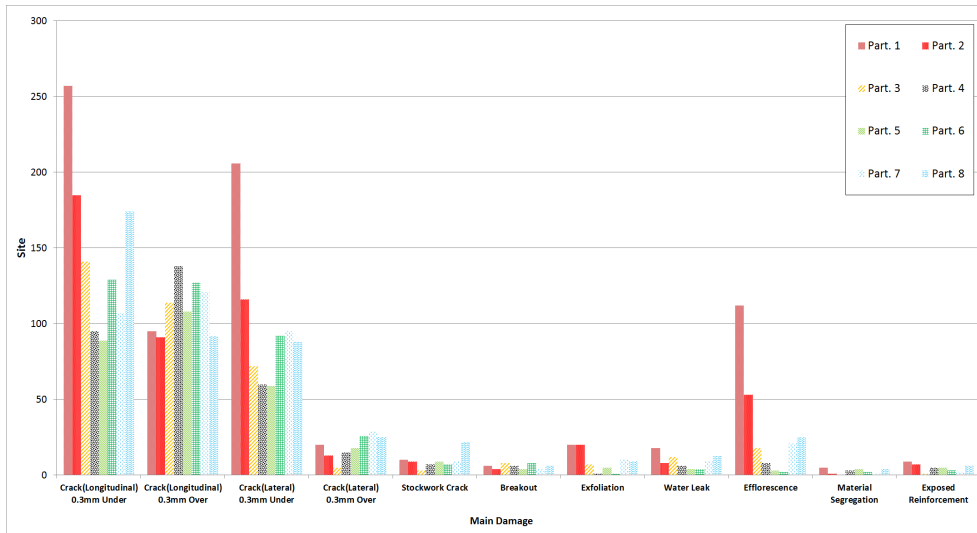


Fig. 12. Damages distribution of tunnel lining location in Gangwon-do (Hongcheon, Jeongseon, Gangneung)

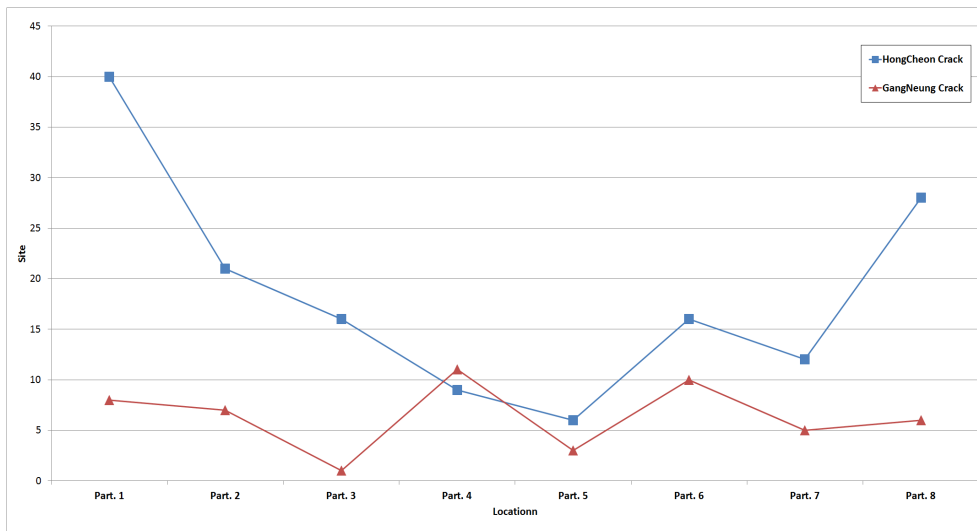


Fig. 13. Crack damages by location of tunnel lining (Hongcheon, Gangneung area)

를 비교한 결과, 동결 기간(11월~02월)까지의 두 지역의 기온 차는 홍천이 강릉보다 약 3~5°C 낮은 것으로 나타났다. 이에 따른 홍천의 경우 균열은 총 148개소로 강릉의 균열 개소보다 97개소 많았으며, 균열의 총 연장길이는 홍천의 경우 281m, 강릉의 경우 112.2m로 분석되었다. Fig. 13은 위치별로 홍천과 강릉을 비교한 것으로 터널의 입, 출구에서 피해가 가장 많은 것으로 나타났으며 특히 기온이 낮은 홍천지역에서 더 뚜렷하게 나타났다. 이러한 결과로부터 터널라이닝의 손상 가능성은 기온의 저하에 따라 커지게 되고, 동일지역에서 터널 입출구부의 손상이 많은 것은 연장이 긴 터널의 경우 터널 내부보다 터널 입출구부가 외부 기온의 변화에 따라 터널 내부의 기온이 직접적으로 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 터널 내부 라이닝의 손상을 점검한 자료를 분석하여 한랭지역(강원권) 도로터널 라이닝부의 피해 유형 및 손상위치 분석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 2000년~2014년까지의 한랭지역(강원권)을 중심으로 동결심도를 분석한 결과, 홍천지역이 155cm로 가장 높게 나타났으며, 가장 낮게 나타난 지역은 강릉지역으로 126cm를 나타내었고, 홍천지역과 강릉지역의 최대 동결심도 차이는 104cm를 보였다. 한랭지역 도로터널 라이닝부에서 가장 많이 발생하는 피해 유형은 균열이며 이 중 중, 사방향 폭 0.3mm 미만의 균열이 총 1,178개가 발생하였고, 총 균열길이는 4265.8m로 조사되었다.

- (2) 조사대상터널에 대한 터널 내 위치별 손상사례를 분석하기 위하여 터널 종단방향으로 8개의 Part로 구분하여 분석한 결과 터널 내 입출구부 위치인 Part. 1(중, 사방향으로 0.3mm 미만, 257개소)과 Part. 2(중, 사방향으로 0.3mm 미만, 185개소)에서 균열이 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 Part. 1에서는 백태도 많이 발생하는 것으로 파악되었으며, 기타 전체적인 손상 역시 한랭지역 도로터널 입출구부에서 발생하는 것으로 나타났다.
- (3) 기온에 따른 터널 라이닝의 피해영향을 비교하기 위하여 홍천지역과 강릉지역의 터널손상을 비교하였다. 비교적 기온이 높은 강릉지역 도로터널의 경우 입구부에서 10개소의 균열이 조사되었고, 기온이 낮은 홍천지역 도로터널의 경우는 26개소의 균열이 조사되었으며, 총 균열은 강릉의 경우 51개소, 홍천의 경우 148개소로 홍천지역의 터널 라이닝에서의 손상이 더 많은 것으로 나타났다.
- (4) 강원지역에 있는 도로터널 라이닝에서의 손상 여부 및 손상위치를 조사한 결과, 대기온도가 낮은 한랭지역에서의 피해가 좀 더 발생하였으며, 동일지역 터널 내에서도 기온이 낮은 입출구부에서 손상이 좀 더 많이 발생한 것으로 조사되었다. 따라서, 본 연구결과를 통하여 한랭지역에 계획되는 터널의 입출구부 라이닝에는 지역적 온도분포를 고려한 단열처리 및 보강이 필요할 것으로 판단되며, 운용 중인 도로터널에 대해서도 터널 라이닝의 내구성 확보를 위하여 대응공법이 개발될 필요가 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(16RDRP-B066780)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Korea Expressway Corporation Research Institute (2013), A Study on the antifreeze of concrete lining according to the temperature drop in the tunnel, Korea Expressway Corporation, pp. 1~80 (in Korean).
2. (주)경원엔지니어링건축사사무소 (2015.06), 국도 42호선 아우

- 라지교 등 7개 시설물 정밀점검용역 종합보고서, 정선국토관리사무소.
3. (주)경원엔지니어링 건축사사무소 (2015.09a), 국도 19호선 원주 백운2교 등 8개 시설물 정밀점검용역 종합보고서, 홍천국토관리사무소.
4. (주)경원엔지니어링 건축사사무소 (2015.09b), 국도 46호선 수인터널 정밀안전진단보고서, 홍천국토관리사무소.
5. (주)경원엔지니어링 건축사사무소 (2015.09c), 국도 46호선 수인터널 정밀안전진단요약보고서, 홍천국토관리사무소.
6. (주)덕산 (2006.09), 국도 44호선 인제대교 등 18개 시설물 정밀점검기술용역 정밀점검보고서, 홍천국도유지건설사무소.
7. (주)대호이엔씨 (2009.06), 홍천국도 남부권역 시설물(교량, 터널) 정밀점검용역 정밀점검보고서, 홍천국토관리사무소.
8. (주)대호이엔씨 (2012.07a), 국도 5호선 용산리피암제 1터널 등 9개소 정밀점검용역 정밀점검보고서, 홍천국토관리사무소.
9. (주)대호이엔씨 (2012.07b), 국도 46호선 웅진터널 등 10개소 정밀점검용역 정밀점검보고서, 홍천국토관리사무소.
10. (주)대호이엔씨 (2013.09), 국도 43호선 문혜1교(상)등 10개 시설물 정밀점검용역 정밀점검보고서, 홍천국토관리사무소.
11. (주)일신하이텍 (2008.10), 홍천국도 관내 시설물(교량, 터널) 정밀점검용역 정밀안전점검보고서, 홍천국도관리사무소.
12. (주)위드이앤오 (2014.07), 국도 31호선 시루교 등 17개 시설물 정밀점검용역 정밀점검보고서, 정선국토관리사무소.
13. (주)위드이앤오 (2015.07a), 국도 5호선 봉산터널(상) 등 11개 시설물 정밀점검용역 정밀점검보고서, 홍천국토관리사무소.
14. (주)위드이앤오 (2015.07b), 국도 46호선 배후령 터널 등 4개 시설물 정밀점검용역 정밀점검보고서, 홍천국토관리사무소.
15. (주)진화기술공사 (2015.06), 국도 31호선 석항3교(상) 등 10개 시설물 정밀점검용역 정밀점검보고서, 정선국토관리사무소.
16. (주)진화기술공사 (2015.10), 국도 46호선 인제 한계터널(상) 외 5개소 정밀점검보고서, 강릉국토관리사무소 양양출장소.
17. (주)한국종합시설안전 (2014.09a), 장호터널(상) 외 10개소 정밀점검 용역 종합보고서, 강릉국토관리사무소.
18. (주)한국종합시설안전 (2014.09b), 장호터널(상) 외 10개소 정밀점검 용역 부록, 강릉국토관리사무소.
19. (주)한국종합시설안전 (2015.07), 국도 31호선 평창교 등 7개 시설물 정밀점검용역, 정선국토관리사무소.
20. (주)한길종합엔지니어링 (2015.06), 국도 38호선 두문동재2터널 정밀안전진단 용역 종합보고서, 정선국토관리사무소.
21. (주)화신엔지니어링 (2014.07), 국도 35호선 토산교 등 21개 시설물 정밀점검용역 정밀점검보고서, 정선국토관리사무소.
22. (주)화신엔지니어링 (2015.06), 국도 31호선 칠량교 등 10개 시설물 정밀점검용역 정밀점검보고서, 정선국토관리사무소.
23. Asakura, T. and Kojima, Y. (2003), Tunnel maintenance in Japan, Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 18, pp. 161~169.
24. Kim, N. Y. and Shim, J. W. (2013), Case studies on the tunnel frost due to the low temperature, Korea Geosynthetic society, 2013 spring Geosynthetics Conference, pp. 107~110 (in Korean).
25. Parkinson, G. and Ekes, C. (2008), Ground penetrating radar evaluation of concrete tunnel linings, 12th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 16~19.
26. Zhang, S., Lai, Y., Zhang, X., Pu, Y. and Yu, W. (2004), Study on the damage propagation of surrounding rock from a cold-region tunnel under freeze-thaw cycle condition, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 19, pp. 295~302.