

동해안 39개 철도구조물의 염화물 함유량과 중성화에 대한 현황분석

Current Status on the Chloride Content and
Carbonation of Train Structures in the East

이 영 재* 김 용 희** 이 윤 영***
Lee, Young-Jae Kim, Yong-Hee Lee, Yoon-Young

Abstract

Recently, the premature corrosion for reinforced concrete structure exposed to chloride bring about a serious problem in concrete structures. Specially, the concrete structures of sea coast are exposed much to chloride which make rapid corrosion. Thus, construction activities and maintenances for marine facilities are more demanded than those for land structures. The results of this study have been analysed to identify the extent of chloride content and incidence of carbonation for construction age. After measuring chloride content in concrete, it was concluded that about 90% of all tests on concrete samples exceed the acceptable maximum limit to risk of chloride-induced carbonation. The carbonation rate coefficient by age of train structures in the east estimated 6.55, 4.76 greater than 3.727. In the basis of this result, it is necessary to maintenance for the important train facilities with the regular tests of chloride and carbonation.

Keywords : Train structures, Chloride content, Carbonation, Train facilities

1. 서론

최근 콘크리트 구조물의 조기열화 문제가 야기되고 있다. 특히, 해안 부근에 건설된 콘크리트 구조물은 해수 및 해풍 영향을 받아 콘크리트 속으로 염분이 침투되고 콘크리트 속에 매입된 철근은 급격한 부식이

발생되고 있는 실정이며, 경제 성장에 따른 항만 구조물의 건설 및 유지관리에 관심이 고조되고 있다.

1990년 중반 성수대교, 삼풍백화점 붕괴 이후 대형 시설물에 대부분 콘크리트의 강도만 조사했을뿐 내구성에 대한 콘크리트의 품질은 등한시된 것이 현실이다.

* 국립 상주대학교 토목공학과 교수, 공학박사

** 경남대학교 토목환경부 토목공학과 교수, 공학박사

*** 경남대학교 대학원 토목공학과 박사수료

E-mail : yjlee@sangju.ac.kr 054-535-5255

•본 논문에 대한 토의를 2003년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2003년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

S시의 경우 콘크리트의 품질, 철근의 부식의 조사는 7~9%에 그치지만 일본, 영국의 경우는 5년마다 주기적으로 콘크리트의 품질을 조사하고 있다. 콘크리트 구조물에 대한 법정연수는 약 60~65년으로 책정되어 있으나, 최근의 산업사회에 따른 제한경적인 요인등으로 인한 각종 콘크리트 구조물의 내구성 부족과 열화 현상으로 내용연수가 극도로 저하되어 구조물의 안정성 및 주거성이 악화되고 있다.

또한, S시의 중성화 및 염해를 중심으로 조사 분석한 자료⁽¹⁾에 따르면 콘크리트 구조물의 주 성능저하 원인이 중성화와 염해에 의한 결과로 판명되었고, 국립수산진흥원이 99년 해안의 표층염분 비율을 조사 결과, 우리나라 해안의 염분비율이 31~34%로 나타나 해안, 해상에 건설된 철근 콘크리트 구조물은 비례 염분이나 직접해수와 접촉해 열화나 손상을 입게되어 내구성 및 안전성에 문제가 될 수 있다. 특히, 콘크리트 중에 염화물 이온(Cl⁻)이 존재하면 콘크리트중의 철근이 부식하고, 그 체적은 원 단면의 2.5배로 팽창하여 그 팽창압에 의해서 피복 콘크리트에 균열이 발생한다. 철근 부식에 의해 피복 콘크리트에 균열이 발생한 시점에서 철근 부식량은 그다지 크지 않으며, 당장은 구조상의 안정성을 저하시킬 정도는 안되지만 부식균열이 발생하면 산소나 수분의 공급이 용이하게 되고 철근의 부식을 촉진 시켜 균열은 더욱 크게 진전하여 피복 콘크리트가 박락하여 구조물은 현저하게 열화 된다. 이처럼 염분은 철근 콘크리트에 있어서 치명적이며, 콘크리트 중으로 염분이 침입되지 않도록 하는 것은 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 국가기간산업의 동맥을 이루는 철도 시설물인 삼척선 및 영동선(동해~강릉간) 39개소의 철도 구조물을 염화물 함유량과 중성화 시험 데이터를 분석 평가하여 사회 간접 자본을 보호하기 위한 유지관리 및 정기점검, 향후 정량적인 설계 시공지침 마련을 위한 자료를 확보하는데 있다.

2. 연구개요

Table 1에서 삼척선 및 영동선(동해~강릉간) 39개소의 철도 구조물을 1999년 7월 29일~1999년 9월 27일까지 60일간 조사 및 분석 하였으며, 이 구간은 1933년에서 1960년 사이에 건설된 비교적 노후된 철도 구조물이다.



Fig. 1 조사대상 지역 (동해~강릉간)

Table 1 강원도 삼척선 및 영동선 철도 시설물의 현황 (계속)

노선명 및 노선번호		강원도 삼척선 및 영동선(동해-강릉 구간)							
영동선	구 간	위 치	구조물명	연(m)	시설물개요		구조물이해안으로부터의위치		구조물의 주변환경
					제원	교대교각	사거리(m)	지상높이(m)	
"	동해~목호항	149.370km	소 정	16.12	6.02×1 9.01×1	3	134	11	해안선
"	"	152.310km	천곡천	25.40	12.0×2	3	157	12	해안선
"	"	152.780km	평릉천	11.80	11.88×1	2	153	13	해안선
"	"	153.218km	석 단	18.07	18.07×1	2	144	11	해안선
"	"	153.357km	부곡천	29.05	8.90×1	4	121	9	해안선
"	"	153.771km	부곡육교	28.30	7.75×5	6	170	8	해안선
"	"	154.095km	천호천	13.60	6.23×2	3	132	8	해안선
"	목호~망상	159.845km	노봉천	9.00	9.00×1	2	144	9	해안선

노선명 및 노선번호		강원도 삼척선 및 영동선 (동해 - 강릉 구간)							
선 별	구간	위치	구조물명	연장(m)	시설물개요		구조물이해안으로부터의 위치		구조물의 주변환경
					제원	교대교각(EA)	사거리(m)	지상높이(m)	
"	"	160.015km	노봉천2	49.88	9.00×5	6	134	7	해안선
"	망상~옥계	162.331km	기곡천	6.72	3.00×2	3	145	4	해안선
영동선	망상~옥계	164.900km	신기	8.71	8.72×1	2	112	6	해안선
"	옥계~정동진	166.496km	신영	8.90	9.0×1	2	899	7	해안선
"	"	166.542km	옥계천	217.30	18.30×11	12	900	6	해안선
"	"	176.857km	정동천5	58.10	18.30×3	4	135	7	해안선
"	"	177.142km	고성천	6.00	6.00×1	2	144	8	해안선
"	정동진~안인	178.528km	등명천1	6.00	6.00×1	2	120	6	해안선
"	"	184.031km	군성강	66.34	12.10×5	6	156	11	해안선
"	안인~강릉	191.755km	남대천	217.30	18.3×11	12	129	9	해안선
"	동해~삼척	8.295km	갈천	12.00	12.10×1	2	141	8	해안선
"	"	11.637km	오십천	247.96	21.3×12	13	720	6	해안선
"	동해~목호항	0.833km	송정	16.12	6.02×1 9.01×1	3	170	5	해안선
"	"	4.247km	평릉천	11.80	11.88×1	2	155	7	해안선
"	"	4.797km	부곡천	29.05	8.90×3	4	129	7	해안선
"	"	5.690km	향로봉	4.00	4.00×1	2	195	8	해안선
"	"	6.650km	발한천	25.00	4.50×1 5.00×3	5	185	6	해안선
"	옥계~정동진	181.175km	사동터널	304.00		2	890	8	해안선
"	"	182.031km	안인터널	92.00		3	145	7	해안선
"	동해~삼척	7.128km	증산터널	147.00		6	163	5	해안선
"	"	8.495km	후진터널	85.00		2	125	5	해안선
"	동해~목호	152.555km	옹벽1	50.00	우	1	52	6	해안선
"	"	152.673km	옹벽2	178.00	우	1	49	6	해안선
"	목호~정동진	164.665km	옹벽3	135.00	우	2	350	7	해안선
"	옥계~정동진	176.950km	옹벽4	190.00	우	2	153	5	해안선
"	정동진~안인	178.950km	옹벽5	42.00	우	3	179	6	해안선
"	"	179.698km	옹벽6	211.00	우	2	189	4	해안선
"	"	182.200km	옹벽7	175.00	우	1	167	8	해안선
"	"	182.520km	옹벽8	230.00	우	2	167	7	해안선
"	"	182.780km	옹벽9	620.00	우	3	134	6	해안선
목호항선	목호항	5.200km	옹벽10	300.00	우	2	194	6	해안선
	합계		39개소			141			

대상 구조물에 대한 염분 측정은 해안선상에 위치한 콘크리트 구조물을 대상으로 콘크리트 속의 염화물 함유량은 콘크리트 표준시방서⁽²⁾를 참고로 하여 콘크리트 중량의 0.02%를 허용염화물량으로 간주하였고, 본 연구에 사용된 시편은 5×15cm이며 콘크리트 구조물의 염화물 함유량을 Salt Meter인

CL-3727형을 사용하여 전류전극법으로 측정하였다.

또한, 중성화 시험 정확도를 높이기 위하여 5회 페놀트탈레인법으로 측정하여 岸谷式⁽¹⁰⁾과 비교분석하였으며 이에 따른 중성화의 반응속도 계수를 도출하였다.

3. 콘크리트 열화의 메커니즘

3.1 콘크리트 염화 함유량

일반적으로 콘크리트 구조물의 염해에 대한 원인으로서는 철근 콘크리트 속의 철근에 염화물 이온이 작용하여 철근 표면의 부동태 피막을 파괴하고 철근을 부식시킴으로써 일어난다. 이 염화물의 기원은 콘크리트 제조시에 바닷모래나 혼화제에 따라서 야기되는 선천적인 것과 완성 후 바닷물, 염퐁, 해염 입자 또는 용설제 등에 따라 외부에서 야기되는 후천적인 것이 있다. 이로써 콘크리트 속에 도입된 염화물 모두가 철근 부식염(C₃A · CaCl₂ · 10H₂O)으로써 시멘트 수화물에 화학적으로 고정된 다른 시멘트 경화체 조직에 물리적으로 흡착된 것도 있다. 즉 콘크리트 속의 전체 염분은 액상 속에 녹아 있는 염화물 이온, 프리텔시염 등으로서 고상(固相)중에 고정되어 있는 염분과 이들의 중간에 흡착염분 등으로 나눈다.

대상 구조물의 경우 구조물 특성상 생활하수 및 기타 환경적 요인에 기인한 염화물의 피해가 우려되며, 염화물에 의하여 발생하는 콘크리트의 염해는 크게 해사 사용 등에 의한 내부 염해와 해안환경, 제설용 염화물 살포 등에 의한 외부 염해로 구분된다. 해사중에는 염화나트륨이 포함되어 있는데, 이를 세척하지 않고 콘크리트에 사용 할 경우 강제부식과 콘크리트의 백화 등 구조물에 심각한 문제를 일으킨다

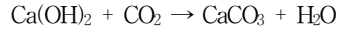
3.2 콘크리트 중성화

콘크리트의 부식은 표면에서부터 이루어지므로 단기 재령일수록 빠르고 장기 재령일수록 그 진행속도가 늦어지고 콘크리트가 경화하는 과정에서 시멘트량의 약 13인 수산화 칼슘의 포화 수용액은 약 PH12.6의 강알칼리성이기 때문에 콘크리트는 강알칼리성을 띠게된다.



Fig. 2 콘크리트 균열과 철근의 부식 과정

콘크리트는 타설 후 대기 중에 있을 때 대기중의 이산화탄소가 콘크리트 부에 침투해서 콘크리트 중의 수산화칼슘과 다음과 같은 화학반응을 일으킨다.



경화시멘트 풀의 수산 화합물 중 약 25%를 차지하는 수산화칼슘(Ca(OH)₂)의 영향으로 PH가 12~13인 강알칼리성을 나타낸다. 그러나, 콘크리트가 대기 중에 노출되면 대기중에 약 0.035% 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(CO₂)와 수산화칼슘이 반응하여 탄산칼슘Ca(CO)₃으로 환원되면서 표면부터 콘크리트의 PH가 서서히 10이하로 낮아진다. 중성화 현상은 자체적으로는 콘크리트의 물리적 또는 기계적 성능저하에 큰 영향을 미치지 않는으나, C-S-h(규산칼슘 수화물)의 결합조직 약화에 다른 강성저하, 중성화된 콘크리트의 취성화, 미세 공극 용액의 알칼리 농도변화, 철근표면의 부동태 알칼리 피막파손 및 철근부식 등의 손상을 부수적으로 동반하므로 구조물의 내구성능을 감소시키는 주요인자로 알려져 있으며, 대상 구조물들은 재령이 약 40년이상 경과됨에 따라 현 시점에서 콘크리트 구조물의 부식 진행 정도를 파악하였다.

3.3 콘크리트 중성화 허용깊이⁽⁴⁾

철근 콘크리트 구조물의 내구성 검토를 위해서는 철근 부식의 원인인 콘크리트 중성화 현상 진행을 예측하는 것이 매우 중요하며, 중성화 진행을 경과 시간의

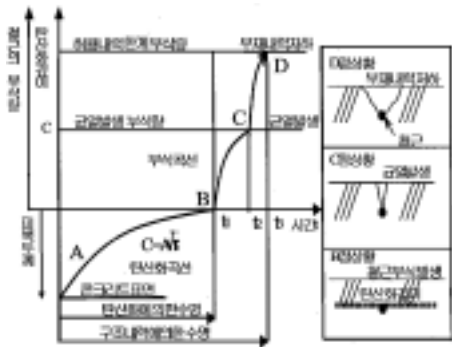


Fig. 3 중성화와 철근 부식에 의한 내용년수

함수로서 표시하는 것이 가능하였다. 한편, Fig. 3는 콘크리트 중성화에 의한 철근 부식과 철근 콘크리트 구조물의 내구 수명과의 개념을 나타낸 것이다.

여기서,

- t_1 : 중성화가 내부 철근의 표면에 도달하는 시점
- t_2 : 철근이 부식하여 콘크리트에 균열을 발생시키는 시점
- t_3 : 부재내력이 한계에 도달하는 시점

또한, 철근 콘크리트 구조물의 내구성 검토를 위해서는 구조물의 목표 내구성 수명 및 허용 콘크리트의 중성화 깊이를 결정하는 것도 매우 중요하다. 철근 콘크리트 구조물의 중성화 실태조사 결과에 의하면 실내에서는 중성화 영역이 철근 위치까지 도달한 시점 이후에도 철근 부식이 경미하게 발생하며, 실외에서는 중성화가 철근위치 까지 도달하면 그 이후 급격히 철근 부식이 진행하므로 허용콘크리트 중성화 깊이는 실내의 경우에는 중성화가 철근보다 20mm 더 진행된 시점, 실외의 경우에는 철근 위치에 중성화 도달한 시점(t_1)으로 하는 것으로 결정하는 경우가 많았다.

4. 결과 및 분석평가

4.1 콘크리트 염화 함유량 분석

철근의 부식에 가장 큰 영향을 미치는 것은 콘크리트 중의 염화물 이온의 농도이며, 강수량, 콘크리트의 품질은 구조물의 지리적 위치, 교통량 및 유지관리 이력에 의해서도 농도 차이가 나타난다. 명확한 것은 CI량, 콘크리트의 밀실정도, 피복, 균열 및 환경조건

이 매우 중요한 인자이지만 특히, 콘크리트 내부로 염화물 및 이산화탄소의 침투는 W/C비 50% 이상일 때 급격한 증가를 보인다.⁽⁵⁾

본 대상 구조물의 콘크리트 속에 함유되어 있는 염화물 함유량은 코어채취에 의한 표본조사이므로 삼척선 및 영동선 동해~강릉간의 철도교시설물 전체에 적용하기는 어렵지만 염화물 함유량 조사결과는 Table 2, Fig. 4와 같다. 그러므로, 본 시설물의 염화물 함유량 시험 분석결과 39개소 중 평릉천의 35개소는 콘크리트 표준시방서⁽²⁾ 및 ACI Building Code 318⁽¹¹⁾를 참고로 하여 콘크리트 중량의 염화물함유량은 각각 0.02%, 0.04%로 허용염화물량 상회하였으며, 특히, 해안에서 0.2km 이내는 염해 지역에 위치하고 있는 지역일수록 내륙에 위치한 지역보다 최고 5~6배정도 염화 함유량이 높게 나타났고 염화물함유량이 지속적으로 증가함을 알 수 있다.

또한, 내구성 조사 진단시 염화물에 대한 평가는 현재 체계적인 평가방법이 정립되어 있지않으며, 평가기준도 혼용되고 있는 상황인 것이다. 따라서, 최근 사회적인 문제로 대두되고 있는 염해에 대한 대책을 마련하기 위해서는 체계적이고 규격화된 염화물량 평가방법과 평가 기준의 정립이 시급히 이루어져야 한다.

4.2 콘크리트 중성화 분석

본 시험의 분석 결과는 구조물의 재령이 40년 이상의 비교적 노후화 된 구조물이기 때문에 당시의 콘크리트 배합비등 설계자료가 불확실하기 때문에 중성화 깊이를 추정하는 일반식중에는 가장 기본적이고 범용화된 (1)식과 비교하기위해 $\propto \sqrt{t}$ 의 조건으로 회귀 분석하여 중성화 속도식을 도출하였다.

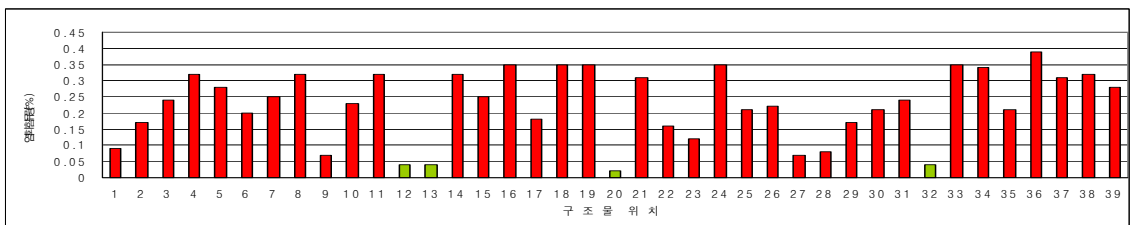


Fig. 4 동해안 철도시설물의 염화함유량

Table 2 염화물 함유량 조사 결과

No.	선 별	구 간	위 치	구 조 물 명	콘크리트 표준시방서 ⁽²⁾ 기준						준공일
					Data값 (%)			평균(%) Data값	검정여부		
									O.K	N.G	
1	영동선	동해~목호항	149.370km	송 정1	0.09	0.07	0.10	0.09		○	63.10.30
2	"	"	152.310km	천곡천	0.15	0.23	0.13	0.17		○	63.10.30
3	"	"	152.780km	평릉천1	0.14	0.36	0.23	0.24		○	60. 9.30
4	"	"	153.218km	석 단	0.23	0.27	0.46	0.32		○	60. 9.20
5	"	"	153.357km	부곡천1	0.24	0.37	0.24	0.28		○	63.10.30
6	"	"	153.771km	부곡육교	0.30	0.16	0.14	0.20		○	40. 8. 1
7	"	"	154.095km	천호천	0.28	0.22	0.25	0.25		○	60. 9.20
8	"	목호~망상	159.845km	노봉천1	0.23	0.47	0.27	0.32		○	63.10.30
9	"	"	160.015km	노봉천2	0.06	0.08	0.07	0.07		○	63.10.30
10	"	망상~옥계	162.331km	기곡천	0.21	0.24	0.24	0.23		○	60. 8.10
11	영동선	망상~옥계	164.900km	신기	0.31	0.30	0.35	0.32		○	60. 8.10
12	"	옥계~정동진	166.496km	신영	0.03	0.01	0.01	0.01	○		63.10.30
13	"	"	166.542km	옥계천	0.01	0.01	0.03	0.01	○		60. 8.10
14	"	"	176.857km	정동천5	0.44	0.32	0.20	0.32		○	60. 8.25
15	"	"	177.142km	고성천	0.50	0.21	0.23	0.25		○	60. 8.25
16	"	정동진~안인	178.528km	등명천1	0.40	0.35	0.30	0.35		○	60. 8.25
17	"	"	184.031km	군성강	0.70	0.21	0.22	0.18		○	60. 8.15
18	"	안인~강릉	191.755km	남대천	0.39	0.32	0.34	0.35		○	60. 9.14
19	삼척선	동해~삼척	8.295km	갈천	0.21	0.25	0.24	0.23		○	33. 5.15
20	"	"	11.637km	오십천	0.01	0.01	0.01	0.01	○		33. 5.15
21	목호항	동해~목호항	0.833km	송정2	0.31	0.32	0.30	0.31		○	40. 8.10
22	"	"	4.247km	평릉천2	0.15	0.17	0.16	0.16		○	40. 8. 1
23	"	"	4.797km	부곡천2	0.02	0.19	0.15	0.12		○	40. 8. 1
24	"	"	5.690km	향로봉	0.31	0.34	0.41	0.35		○	40. 8. 1
25	"	"	6.650km	발한천	0.19	0.22	0.22	0.21		○	40. 8. 1
26	영동선	옥계~정동진	181.175km	사동 터널	0.11	0.24	0.21	0.22		○	60. 8.15
27	"	"	182.031km	안인 터널	0.03	0.04	0.14	0.07		○	60. 8.15
28	삼척선	동해~삼척	7.128km	중산 터널	0.01	0.01	0.22	0.08		○	33. 5.15
29	"	"	8.495km	후진 터널	0.14	0.18	0.19	0.17		○	33.12.31
30	영동선	동해~목호	152.555km	옹벽1	0.19	0.23	0.21	0.21		○	61.12.31
31	"	"	152.673km	옹벽2	0.19	0.29	0.24	0.24		○	61.12.31
32	"	목호~정동진	164.665km	옹벽3	0.02	0.01	0.01	0.01	○		63.10.30
33	"	옥계~정동진	176.950km	옹벽4	0.43	0.35	0.40	0.35		○	60. 8.25
34	"	정동진~안인	178.950km	옹벽5	0.23	0.47	0.21	0.34		○	60. 8.25
35	"	"	179.698km	옹벽6	0.13	0.21	0.29	0.21		○	63.10.30
36	"	"	182.200km	옹벽7	0.51	0.29	0.36	0.39		○	60. 8.15
37	"	"	182.520km	옹벽8	0.23	0.33	0.34	0.31		○	60. 8.15
38	"	"	182.780km	옹벽9	0.35	0.32	0.28	0.32		○	60. 8.15
39	목호항선	목호항	5.200km	옹벽10	0.3	0.29	0.25	0.28		○	40. 8. 1
		합계		39개소							

또한, 중성화 깊이와 피복두께를 조사한 결과 15~30mm 사이 집중적으로 분포하였으며, Fig. 6에서 중성화가 피복두께 이상까지 도달한 것이 77%인 30개소로 나타나 대부분의 구조물이 중성화로 인한 열화가 진행됨을 알 수 있다.

$$C = A\sqrt{t} \quad (1)^{(10)}$$

여기서,

W/C=0.6, R=1일 때

C : 중성화 깊이(mm)

A : 중성화 속도 계수(3.727)

t : 재령(年)

Fig. 5에서 岸谷式인 (1)식보다 28%정도 빠르게 나왔으며, Fig. 5, Fig. 6에서 NO. 26,27,28,29의 터널구조물에서는 75%정도 빠르게 중성화가 진행되었다. 이러한 중성화가 현재 진행되고 있는 요인은 당시의 배합 및 설계자료가 없기 때문에 정확히 판정하기가 어렵지만은 시대적인 상황을 고려해 볼 때 시공 불량으로 인한 배합불량, 다짐불량 등 콘크리트가 양호하지 못하거나, 내부의 공극 발생 등과 열차의 매연, 분진 등의 침투에 의해 발생된 것으로 판단된다.

Table 3 중성화 조사 결과

번호	위치	시험치	번호	위치	시험치
		(mm)			(mm)
1	송정36	19	21	송정2	37
2	천곡천	34	22	등평천2	38
3	평릉천	32	23	부곡천2	38
4	석단	31	24	향료봉	33
5	부곡천	44	25	발한천	36
6	부곡육교	42	26	사동터널	33
7	천호천	44	27	안인터널	28
8	노봉천1	35	28	증산터널	29
9	노봉천2	19	29	후진터널	41
10	기곡천	28	30	옹벽1	37
11	신기	35	31	옹벽2	42
12	신영	12	32	옹벽3	33
13	옥계천	18	33	옹벽4	37
14	정동천5	28	34	옹벽4	36
15	고성천	35	35	옹벽6	40
16	동명천1	37	36	옹벽7	43
17	군성강	29	37	옹벽8	42
18	남대천	35	38	옹벽9	32
19	갈천	35	39	옹벽10	44
20	오십천	37			

5. 결론

동해안 철도 구조물 39개의 염함유량과 중성화에 대한 현황을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 삼척선 및 영동선 구간인 동해~강릉간 39개소의 염화물 함유량 조사 결과 35개소 시설물은 콘크리트 표준시방서⁽²⁾ 허용치 0.02% 상회하였다.
- 2) 삼척선 및 영동선 구간인 동해~강릉간 39개소의 중성화 조사 결과 35개 시설물은 중성화 속도의

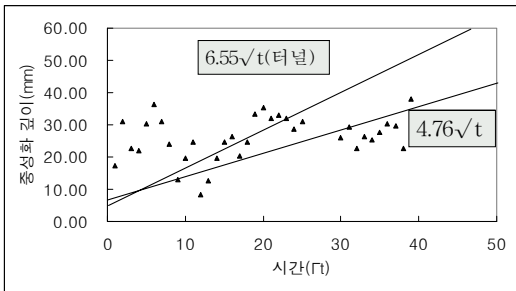


Fig. 4 재령에 따른 중성화속도 계수 평가

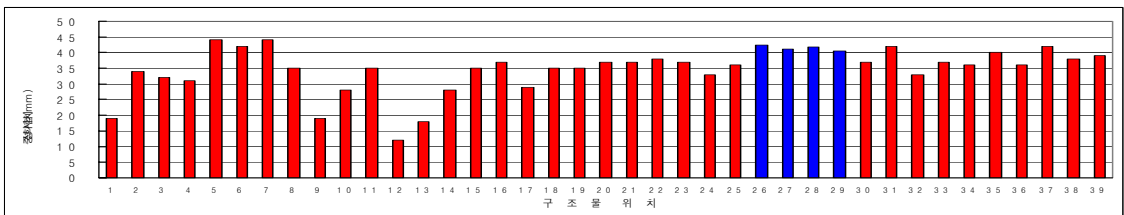


Fig. 5 동해안 철도시설물의 중성화 조사결과

계수는 4.76으로 岸谷式⁽¹⁰⁾ 보다 28% 빠르게 진행하였고 또한, 터널 구조물에서 6.55로 75%정도 중성화가 빠르게 진행되는 것으로 보아 해안지역에 근접한 터널 구조물이 중성화의 진행속도가 빠른 것으로 사료된다.

- 3) 초과된 염화물 함유량은 노후화 촉진 및 내구성과 성능저하에 영향을 미치므로 특별히 정기적인 염화물 함유량 점검과 유지관리가 요구된다.
- 4) 염화물 함유량과 중성화는 설계시의 보완 조치와 예방대책을 위한 지속적인 관심과 국내 환경조건에 맞는 연구를 계속해 나가는 것이 중요하다고 사료되며, 정기 안전 점검을 위한 기초자료로 제안한다.

참고문헌

1. 이창수 외 2, 서울시내 140개 철근콘크리트 교량의 내구성 현황 분석, 구조물진단학회지, 제4권 3호, 2000, pp 161-168.
2. 콘크리트 표준시방서, 1999, pp. 40-41.
3. 이문환 외 1, 콘크리트 구조물의 철근 부식도에 관한 연구 조사, 한국 건설 기술연구원, 1999. 12.
4. 이한승 외 1, 콘크리트 탄산화에 대한 RC 구조물의 내구성 설계 및 보수공법, 콘크리트 학회 논문집, 제13권 6호, 2001, pp.39.
5. 윤인석, "촉진실험에 의한 콘크리트의 철근부식거동.", 서울시립대학교 석사학위논문, 1998.

6. 박승범, 김도겸, "해양 구조물의 철근 부식 예측 기법 개발에 관한 연구," 콘크리트 학회 논문집, 제11권 6호, 1999, pp.89-100.
7. 장승엽, 염소 이온의 확산 모델에 의한 염해를 받는 콘크리트 구조물의 내구성 예측 연구, 서울대학교 석사논문, 1997.
8. 동해보선사무소(강원도 동해시), 영동선 동해안-강릉간 남대천 외 38개소 염화물 함유량 및 중성화 시험용역 보고서, 국립 상주대학교 부설 산업과학기술연구소, 1999. 9.
9. 김은겸, "콘크리트 구조물의 염화물 이온 침투 거동 해석." 콘크리트 학회 논문집, 제9권 6호, 1997, pp.233-241.
10. 岸谷孝一, 콘크리트鹽化物의耐久性 시리즈, "中性化", 西澤紀 昭他編, 1986. 4., pp. 34-35, 58-64.
11. ACI Building Code 318/R-36.
12. AASHTO T 260, "Sampling and Testing Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials", 1993, pp.802-815.
13. Hansen, E. J. and Saouma, V. E., "Numerical Simulation of Reinforced Concrete Deterioration - Part I : Chloride Diffusion", ACI Material Journal, Vol. 96. No. 2, 1999, pp.173~180.
14. Saetta. A. V., Scotta, R. V. and Vitaliani, R.V. "Analysis of Chloride Diffusion into Partially Saturated Concrete." ACI Material Journal, Vol. 90. No. 5, 1993, pp.441-451.

(접수일자 : 2002년 5월 27일)