

철근콘크리트의 염해와 중성화 피해 사례 연구

The Study on Salt Injury and Carbonation of Reinforced-Concrete

김동훈*

Kim, Dong-Hun

임남기**

Lim, Nam-Gi

이상범***

Lee, Sang-Beam

Abstract

A reinforced concrete building neighboring in Pusan or Ulsan where is directly exposed to salt water contrasting with other in land areas contains much salt content percolated from the outside that the high salt content percolates and diffuses through the inside of reinforced concrete; therefore, an immovable tunic surrounding it begins to be destroyed and eroded with high speed. At the time, the cross-sectional area and volume expansion of re-bar reinforcing result in being cracks make a rapid progress gradually until they appear in the surface of the one, the phenomenon such as being a thin layer or falling off the part of it causes a lowering of its durability and might collapse the concrete construction.

So far, we've investigated into salt content of reinforced concrete constructions neighboring in a seaside district and damage by carbonation, and we came to a conclusion as follows:

- ① Under the oceanic circumstance a concrete construction is influenced by sea water directly that contains much amount of salt content contrasting with other constructions on inland areas.
- ② Because of chloride penetration the carbonation of reinforced concrete made a rapid progress until more than the covering thickness of re-bar.
- ③ An old reinforced concrete building which has been piled up salt injury and proceeding the carbonation of its cross-sectional area.
- ④ According to rapidly cracking from the inside to surface of reinforced concrete, the phenomenon of being a thin layer or falling off the part of reinforced concrete results in a lowering of durability and shortening the life-time of concrete construction itself.

키워드 : 염해, 중성화, 철근부식, 노후화, 내구성

Keywords : Salt injury, Carbonation, Rebar corrosion, Aging, Durability

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

철근콘크리트는 콘크리트와 철의 복합재료 시멘트 경화체의 강성에 철근의 인성을 플러스시킨 복합형의 구조재료이다. 이 복합재료는 구성재료의 열팽창계수가 동등하고 시멘트 경화제 중의 알칼리성으로 인하여 철근이 부식되지 않는 등의 내구적인 특성이 있으며, 또한 내화성, 경제성에서도 우수하여 전 세계적으로도 광범위하게 사용되고 있다.

이러한 철근콘크리트 구조물은 법적내용년수가 최소 60년 이상으로 고려하고 있으나, 중성화나 염해, 알칼리 골재반응 등에 의한 철근의 부식으로 상징되는 조기 열화현상에 의해 내용년수가 극도로 저하되어 구조물의 안전성 및 거주성이 약해지고, 불량해지는 등 도시환경을 파괴하는 주역이 되고 있다. 그리고, 최근들어 이러한 각종 내구성 저하요인으로 철근콘크리트 구조물의 성능저하는 더욱 가속화되고 있으며, 내구성 저하 사례가 빈번해지면서 인명과 경제적 손실 등의 사회적 문제를 일으키고있다.

특히, 부산이나 울산지역처럼 철근콘크리트 구조물이 바다에 인접해 있는 경우는 해수의 염분이 지하 또는 해풍을 통하여 구조물에 흡착하여 균열의 발생, 수명의 감소, 붕괴 등의 염해와 중성화의 피해가 동시에 일어나는 경우가 많아 그 피해를 엄격히 구분하기 어려운 실정이다.

이에 본고에서는 염해와 중성화 피해가 예상되는 9개 건물을 중심으로 현장 조사와 안전진단을 통하여 녹의 발생 현황과 평균 염분농도, 중성화 깊이, 압축강도 등을 조사하여 적절한 보수방법이나 유지 관리에 필요한 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

연구의 범위 및 세부추진 계획 및 방법은 다음의 표 1과 같다.

표 1. 연구의 범위 및 방법

연구 내용	세부추진 계획 및 방법
<ul style="list-style-type: none"> • 대상선정 • 조사내용 -평균 압축강도 -평균 중성화 깊이 -발청상황 • 현황조사 -현장조사 및 안전진단 보고서 조사 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 현장조사가 가능한 9개 현장 선정 • 염해 및 중성화 피해 사례 확보 • 조사대상 건축물의 현장 답사와 안전진단 보고서 비교 분석 • 염화물, 중성화 깊이, 콘크리트 강도, 철근방청 및 부식과의 상관 관계조사

* 정회원, 동명정보대학교 석사과정

** 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

*** 정회원, 동의대학교 건축공학과 교수, 공학박사

2. 염해와 중성화에 관한 이론적 고찰

2.1 염해

1) 염해(鹽海)의 정의

콘크리트 구조물의 염해물 일으키는 요소는 해사, 해수, 해염입자 등이 있다. 특히, 해수 중에는 NaCl로 환산하여 3-4%의 염분이 존재하게 되는데 철강재의 부식속도가 최대로 되는 염분량은 수용액의 경우 NaCl의 농도로 3.6%이므로 해수 그 자체로도 철근의 부식을 현저하게 촉진시키는 역할을 한다.

염분이 모래의 0.2-0.3% 정도 함유시 콘크리트내의 철근은 녹에 의해 균열이 생기고 시간이 지나면 콘크리트 표면에 탈락현상이 발생되어 구조물에 피해를 주게 된다.

이때 노출 콘크리트이거나 고온다습한 장소에서는 그 현상이 현저하게 나타나게 된다. 콘크리트는 강알칼리에 속하여 콘크리트에 매립되어 있는 철근의 표면은 철의 수산화물물에 의해 보호피막으로 싸여있어 부식이 거의 진행되지 않으나, 콘크리트속에 다량의 염분이 존재하게 되면 보호피막이 파괴되어 철근의 부식이 진행되어 구조물에 균열이 생기게 되어 내구성이 현저하게 저하되게 된다.¹⁾ 이처럼, 콘크리트의 보강재로 많이 쓰이고 있는 강재(鋼材)의 표면에 염분이 침입하여 존재하게되면 강재가 부식되고 녹이슨다는 것은 일반적으로 널리 알려져 있다. 하지만, 그 피해를 중요하게 생각하지 않고 방치하고 있는데 커다란 문제가 있으며, 이런 의미에서 염해(鹽害)는 인재(人災)라고 할 수 있을 것이다.

2) 염해(鹽海)의 기준

콘크리트속의 철근은 철근 주위의 염화물 이온량이 어느 정도까지 많아지면 부식하게 시작한다. 그러므로 국내 외에서는 여러 기준으로 콘크리트속에 함유된 염화물량과 내염성 향상을 위한 재료 사용 조건 및 시멘트 선정에 있어 여러 기준을 두고있다.

표2는 국내외에서 해양환경하의 내구적인 콘크리트 공사를 위해 시멘트 재료와 배합측면에서의 사용지침이나 제반 규정에 대해 정리한 것으로 해양환경에서 사용 시멘트에 대해 특별한 제한 규정은 두지 않고 있으나, 내구적인 재료로서 중용열포틀랜드 시멘트와 혼합 시멘트(고로 시멘트, 플라이애쉬 시멘트)를 추천하고 있으며, 5종 시멘트(내황산염 시멘트)에 대해서는 염화물(Cl⁻)에 의한 침해가 심하게 우려되는 비말대, 파랑대 부위에 적용 시 염화물에 대한 고려를 요구하고 있다. 하지만, 5종 시멘트는 최근들어 적정성 여부에 대하여 많은 논란이 제기되고 있으므로 단순히 사용시멘트의 품종 만으로나 외국의 시방서를 근거로 내염성의 적정 여부를 평가한다는 것은 바람직하지 않으므로 구조물 사용환경에 있어 콘크리트에 영향을 미치는 각종 염분조건이나 국내외 제반 여건 등을 고려하여 내염성이 우수한 시멘트를 선정하여 사용하는 것이 바람직할 것이다.

그리고, 표3은 국내외의 콘크리트에 있어 염화물 함유량을 나타낸 것으로 한국의 경우 염화물 함유량의 규제

값을 나타낸 것으로 한국의 경우 염화물 함유량의 규제 값을 KSF4009에서 콘크리트 중량에 따른 염소이온기준으로 0.3kg/m³이하(단, 구입자의 승인시 0.6kg/m³)로 정하고 있으나, 일본의 JASS 5 및 콘크리트 시방서에서는 그 값을 엄격히 정하고 있는 것을 표2에서 알 수 있다.

표 2. 콘크리트 내구성 확보를 위한 시멘트재료 규정(해양환경)

구분	내용	비고
국외	일본 건축학회 1.시멘트는 포틀랜드, 고로, 실리카, 플라이애쉬 시멘트에 적합한 것으로 함 2.시멘트는 사용개소별 특기시방에 따르며, 특기시방이 없을 시 공사감리의 승인을 받을 것	• JASS-5(97) 염화물 작용을 받는 부위에서 5종 시멘트의 사용시 주의(보완대책고려)
	일본 콘크리트 공학협회 1.시멘트는 포틀랜드, 고로, 실리카, 플라이애쉬 시멘트에 적합한 것으로 함 2.해수중의 염류에 의한 침식이 심하게 예상되는 부위는 고로C종(슬래그량 60-70%) 또는 내황산염(C ₃ A)시멘트를 이용할 것	해양 콘크리트 구조물 방식지침
	일본 항만협회 1.시멘트는 포틀랜드, 고로, 실리카, 플라이애쉬 시멘트에 적합한 것으로 함 2.각종 시멘트 중 특히 내구적인 재료는 중용열포틀랜드, 고로, 플라이 애쉬 시멘트로 함(초기양생에 충분한 주의 필요)	항만시설 기준 및 해설
국내	한국 콘크리트 협회 1.해양콘크리트 구조물에 사용하는 재료는 소요의 내구성을 가지는 것으로 함 2.해수의 작용에 특히 내구적인 시멘트는 고로슬래그, 플라이애쉬 시멘트 등의 혼합시멘트로 하고 초기양생에 특별히 주의 할 것	콘크리트 표준시방서

표 3. 외국의 콘크리트 중의 염화물 함유량의 규제값

국명	규격	규제값	Cl ⁻ 환산값 (kg/m ³)*
영국	BS 8110(1985)	*RC에서는 Cl ⁻ 로 환산하여 시멘트 중량의 0.4%이하	1.20
프랑스	DUT (1979부분개정)	*RC에서는 Cl ⁻ 로 환산하여 시멘트 중량의 0.65%이하	1.95
미국	ACI 222 R(1985)	*RC에서는 Cl ⁻ 로 환산하여 시멘트 중량의 0.2%이하	0.60
일본	JASS 5(1986)	일반의 경우..... 0.30 대책을 강구철근방청 0.60	
	콘크리트시방서 (1986)	PC 등 엄격한 조건 0.30 일반 RC 등의 경우 0.60	

*RC에서는 C=300kg/m³, s=850kg/m³으로 가정하여 1m³당의 콘크리트에 포함되는 염화물 이온중량으로 환산한 값

3) 콘크리트중의 염화물 조사 방법

콘크리트 중의 염화물 함유량을 시험할 경우 경화콘크리트이면 시료를 분말로 만들어 산으로 용해(전염화물)하거나 분말상태의 시료를 온수 중에 침적하여 염화물을 추출(가용성 염화물)하여 용액 중의 염화물 이온농도를 산정한다. 또한 굳지 않은 콘크리트의 경우는 블리딩수 또는 흡인(吸引)여과하여 얻어진 여과액 중의 염화물 이온농도를 측정하여 여기에 단위수량을 곱하여 콘크리트의 단위용적당 염화물 이온량으로 환산한다. 두가지 방법 모두 콘크리트 중의 염화물량을 환산하는 것이며, 이러한 방법은 간이염분측정기를 사용한 굳지 않은 콘크리트 중의 염화물 함유량의 측정방법과 동일하다.

여기서 가용성 염화물이란 콘크리트 속에서 물로 인해 추출되는 염화물이고, 전염화물(全鹽化物)이란 콘크리트를 강한 산으로 용해하였을 때에만 추출되는 염화물로 일본콘크리트 공학협회(JCI)에서는 가용성 염화물을 「경화 콘크리트 속에 함유된 50℃의 온수에 가용한 염화물」이라고 정의하여 측정 방법을 정하고 있다.²⁾

우리나라의 시공기준인 시방서에서의 골재 및 콘크리트 내부의 염화물 함유량 제한은 표3과 같다.

4) 해염입자의 조사 방법

해염 입자가 날라와 콘크리트 속으로 염화물 이온이 침투할 염려가 있는 것은 일반적으로 해안에서 약 500m 이내의 지역이라고 한다. 그러나 해염 입자가 날라오는 정도는 그 지역의 계절풍이나 강하거나 해안의 지형 상태 등에 따라 다르며 날라오는 염화물량을 측정하는 방법에는 일본의 경우 JIC Z 2381 「육외폭로 시험방법」의 거즈 포집법(gavze 浦集法)이나 건설성 토목연구소의 염분 포집기를 사용하는 방법이 있다.²⁾ 하지만, 거즈 포집법의 경우 염분량이 많은 경우에는 모든 염분을 포집할 수 없으므로 일본 건설성에서는 염분의 포집 용량을 많게 한 토목연구소 염분 포집기를 제안하고 있다. 전술한 거즈 포집법은 그림1과 같으며, 염분 포집기는 그림 2와 같다.

5) 염해의 피해 현황

(1) 건축구조물

최근 국내에서는 건설구조물의 대형화, 고층화로 건설공사의 기초재료인 골재의 사용량이 현저하게 증대되고 양질의 하천골재를 구하기가 어려워짐에 따라 골재부족 현상이 현안 과제가 되고 있다.

골재는 콘크리트의 필수적인 기초재료로서 콘크리트에서 차지하는 용적의 70-80%에 이르고 있으므로 골재 품질의 양부가 콘크리트의 전체 품질에 미치는 영향은 절대적이다. 또한 골재의 선택은 경제적으로도 중요한 문제이지만 하천 골재의 대체자원으로서 해사의 이용확대방안 및 이용기술에 대한 연구는 매우 부족한 상태이다.

중앙일보 보도자료를 기초로 하여 작성한 그림3은 염화물량 0.9kg/m³ 이상인 5대 신도시 아파트의 점유비율을 나타낸 것으로서 1991년에는 조사대상 아파트 중 약 35%

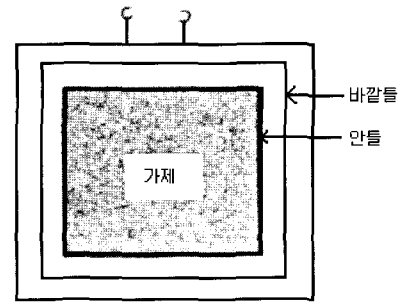


그림 1. 해염 입자 포집기구(Gaze법)

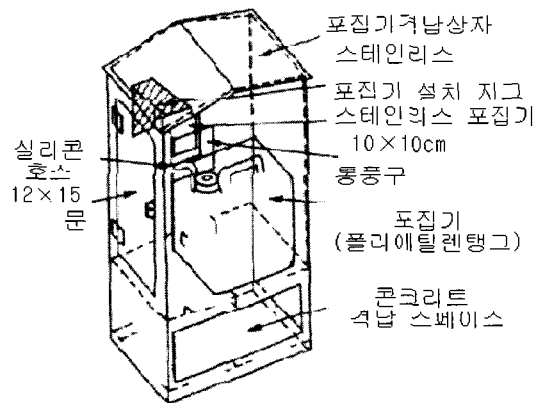


그림 2. 일본 건설성의 토목연구소 염분 포집기

표 4. 국내의 염화물 규제현황

기 준		규 제 현 황	
		염소 이온량 (kgf/m ³)	염화물 (NaCl %)
건축공사 표준 시방서	콘크리트 *	0.3이하 단, 방청상 유효한 대책 수립시 0.6미만	
	잔골재		0.04이하
콘크리트 표준 시방서	콘크리트 *	0.3이하 단, 책임감리원 또는 구입자 승인시 0.6이하	
	물	0.04이하	
	잔골재	0.02%(절대건조중량비)	
콘크리트 구조설계 기준	콘크리트 *	0.3이하 단, 책임기술자 승인시 0.6이하 염소이온농도로 표시 ²⁾ • PS콘크리트 0.06 • 건조 또는 습기차단 RC 1.0 • 염화물에 노출된 RC 0.15 • 기타 RC 0.3	

2)이종득, “철근부식 진단”, 콘크리트 구조물의 내구성진단 시리즈, 일광, 1996.5.30

*1 : KS F 4009와 동일 *2 : 특별히 염소이온농도를 시멘트 질량에 대한 백분율로 표시 할 경우

정도가 KS F 4009에서 규정하고 있는 염화물량이 0.9kg/m³ 이상인 경우도 약 3% 정도를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 특히 일부 신도시의 경우 약 75% 정도가 0.3kg/m³을 초과하는 것으로 나타났다.

한편, 1991년 조사결과와 1995년 조사결과를 비교하면 95년도 결과에서는 염화물량 0.9kg/m³를 초과하는 아파트가 91년 조사결과와 2배 수준으로 나타나 조사 결과에 대한 신뢰성이 떨어지고 있으므로 신도시 아파트의 염화물량에 대한 체계적이고 정확한 조사가 이루어져야 할 것으로 나타났다.³⁾

(2) 토목구조물

충남대학교(시공·재료 연구실)가 최근 6년간의 안전진단 자료를 바탕으로 한 국내 토목구조물에 있어서의 염화물량 현황은 나타낸 그림 4에서와 같이 구조물의 대부분이 규준치인 0.3kg/m³ 이하를 만족하고 있는 것으로 나타났으나, 항만 구조물은 0.3kg/m³을 훨씬 초과하는 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 피해사례 조사에서 해안에 인접한 구조물은 해수의 염분이 지하 또는 해풍을 통하여 구조물에 침입하는 등의 환경작용에 의한 염해 피해가 주된 원인이 될 것이라는 중요한 자료를 제공하고 있다.³⁾

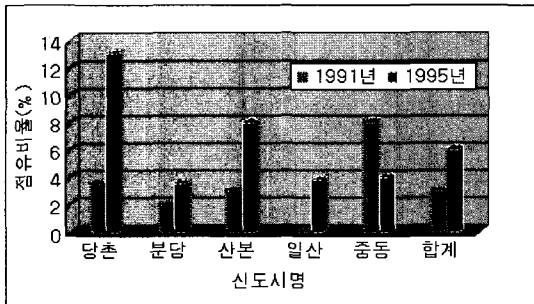


그림 3. 5대 신도시 아파트 염화물량 조사결과

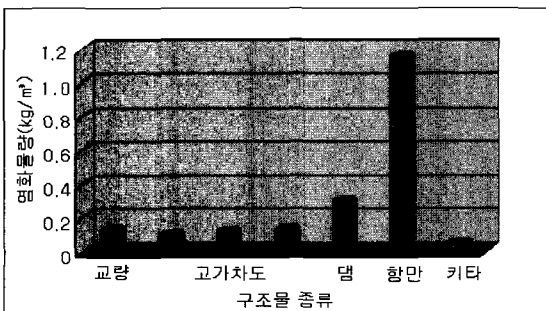


그림 4. 구조물의 종류별 염화물량 현황

3) 김무한, “국내 주요 시설물의 리해빌리테이션 방향”, 중성화 및 염해를 입은 철근콘크리트구조물의 리해빌리테이션, 한국콘크리트학회

2.2 중성화

1) 중성화의 정의

콘크리트의 중성화는 콘크리트를 혼합하여 시멘트가 수화반응을 일으킬 때 생성되는 수산화칼슘의 존재 때문에 콘크리트가 PH(수소이온농도) 12-13.5인 강한 알칼리성이었다가 주로 대기중의 탄산가스와 접촉하여 서서히 탄산칼슘이 생성되면서 PH가 10이하로 저하하는 탄산화 반응을 지칭한다. 이 반응은 탄산가스 또는 아황산가스 등과 접촉하는 콘크리트 표면에서 시작하여 느리게 내부를 향하여 진행되며 그 진행속도는 콘크리트 및 주위환경의 조건에 따라 영향을 받는다.

콘크리트의 중성화 현상을 중요시하는 이유는 이 반응이 보강철근의 부식과 밀접한 관계에 있기 때문이다. 철은 대기 중에서 산소와 반응하여 산화철로 변한다. 이를 철의 산화 또는 부식이라 부르며 콘크리트중의 철근이 산화하게 되면 철근콘크리트는 인장응력을 잃게 된다.⁴⁾

2) 중성화 평가기준

철근콘크리트 구조물의 실태조사에 의하면 일반환경하에 있어서 철근의 부식은 중성화 깊이와 피복두께의 상관관계에 의해 결정된다고 알려져 있다.

중성화와 철근콘크리트의 수명과 관계에서 지금까지는 철근콘크리트 구조물의 수명을 중성화 깊이가 철근의 표면에 도달하는 시점으로 판단하는 중성화 수명설이 주도적이었으나 한편으로는 부재 내력이 한계에 도달하는 시점을 수명으로 보는 구조내력 수명설도 설득력이 있었다. 그러나, 전자는 부재 내력 상 너무 안전하고 후자는 너무 위험한 영역에 속하므로 최근에는 철근이 부식되어 균열을 발생시키는 시점 부식균열 수명설을 철근콘크리트의 수명 산정점으로 정의하고 있다. 그러나 부재 혹은 구조물의 수준을 생각하게 되면 철근의 수는 대단히 많고 환경조건에 의해 중성화 수명설으로부터 부식균열 수명설에 도달때까지 시간이 달라지고 있기 때문에 환경조건 및 부재중 요소별로 나누어 통계적인 개념을 설정한 정량적인 판단이 필요할 것으로 나타났다.

3) 중성화 평가방법

콘크리트 속에 수산화 칼슘이 조금이라도 존재하면 세공 용액은 알칼리성을 나타낸다. 그러므로 중성화 깊이 측정이란 콘크리트 속에 탄산칼슘이 생성되고 있는지 여부를 조사하는 것이 아니고, 어느 위치까지 수산화칼슘이 잔존하는지를 조사하는 것과 거의 같은 뜻이며 중성화깊이의 측정 방법에는 시약을 사용하는 방법, 시차열(示差熱) 중량 분석으로 하는 방법, 평광현미경으로 하는 방법, 분말X선회절로 하는 방법 등이 있다. 이중에는 중성화깊이의 판정법이 확정되지 않는 방법도 있고, 각각의 측정 방법으로 구한 중성화 깊이는 엄밀하게 일치하지 않는다. 중성화 깊이의 측정 방법으로 가장 일반적인 것은 시약, 특히 페놀프탈렌을 사용하는 방법으로 실구조물의

4) 콘크리트의 중성화와 내구성 저하, 국립건설시험소

중성화 깊이 측정에는 거의가 페놀프탈렌 방법을 사용하고 있다. 하지만, 페놀프탈렌 방법은 시약의 농도, 시약의 분무량, 콘크리트의 흡수율, 콘크리트 표면상태, 시약의 뿜정할 때는 주의해야 한다. 또한 코어 등의 시료를 채취하는 경우에는 수산화칼슘이 수용성이므로 코어 드릴의 냉각수로 용해하는 것, 혹은 채취시의 가열하면 탈수되는 점 등에 특히 주의해야 한다. 표4는 일본 콘크리트 공학협회의 중성화 심사 측정법 표준화에 의한 중성화 시험 요령을 나타낸 것이다.⁵⁾

본 연구에서는 Core 채취 또는 파쇄면에 1% 페놀프탈렌 알콜 용액을 분무하여 변색의 여부를 관찰하는 방법을 사용하였으며, 무색이면 중성화, 적색으로 변화하면 알칼리 부분으로 구분하게 되는 표 5의 방법을 사용하였으며, 콘크리트 내부의 철근 부식은 표 6과 같이 진행되는 것으로 가정하였다.

표 5. 페놀프탈렌과 변색(콘크리트 학회)

변색범위(PH값)	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14	
페놀프탈렌 1%용액 변색 (무변화)							적색 변화				

표 6. PH값과 철근의 부식(콘크리트 학회)

(PH값)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14
녹슬기 쉬움				철근 부식 시작			녹슬지 않음						

4) 중성화 피해 현황

국내 철근콘크리트조 아파트의 지역별 중성화 속도를 나타낸 그림 5에서 보는 바와 같이 조사대상 전체 지역의 중성화 속도정수는 0.31, 해안지역의 중성화 속도정수는 0.40으로써 $\omega=0.6, R=1$ 일 때 岸谷식 중성화 속도정수 0.37과 비교하면 조사대상 전체지역 중 내륙지역에서는 약간 느리고, 해안지역은 내륙지역보다 약 1.3배 빠르게 중성화가 진행되는 것으로 나타났다. 또한 해안지역의 경우 내륙지역과 비교하여 평균 피복두께가 두껍지만 표준편차가 다소 크고, 중성화가 빠르게 진행되기 때문에 철근부식확률이 높게 되므로 잔여수명이 짧아 질 것으로 사료된다.

5) 토목구조물

서울지역 지하철 4개 노선의 중성화 현황은 지하 BOX 구조물, 터널, 고가교, 교각 및 슬래브를 대상으로 한 성능저하 실태조사 보고서⁶⁾ 결과를 바탕으로 한 부재별 중성화 깊이 측정 결과를 나타낸 그림 6과 같다. 그림에 따르면 대상 구조물인 고가교, 교각, 터널, 지하 BOX구조물의 중성화 깊이는 큰 차이를 나타내고 있다. 특히 터널구조물의 경우 일부구간의 중성화깊이는 70mm에 달하고 있으며, 다른 구조물에 비하여 중성화 진행이 빠른 것으로 나타났다.

그리고 서울시 토목구조물의 중성화 현황을 서울시 교량, 고가차도 및 지하차도를 대상으로 한 부식상태 조사 보고서⁷⁾의 중성화 깊이 데이터 따르면, 서울시 토목구조물의 중성화 속도는 W/C=0.6, R=1일 때 岸谷식 중성화 속도정수 0.37과 비교하면 교량의 경우 0.44, 고가차도의 경우 0.39, 지하차도의 경우 0.33으로 나타나고 있어 실내 구조물에서 CO₂의 발산 증가로 중성화가 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있었다.

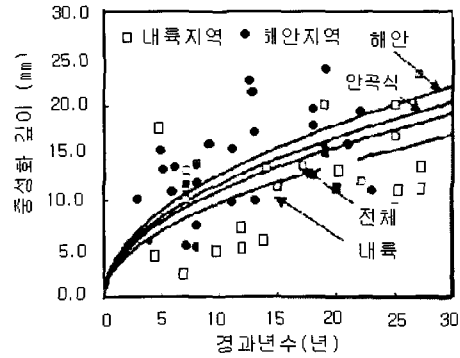


그림 5. 국내 아파트의 지역별 중성화 현황

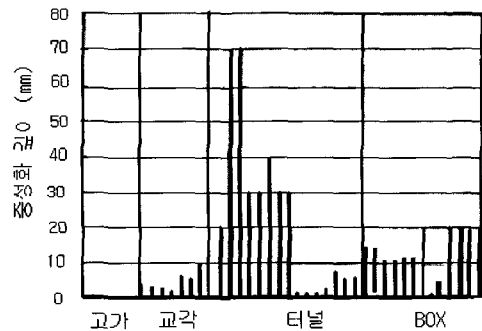


그림 6. 서울 지하철 4개 노선의 부재별 중성화 깊이 측정 결과

3. 사례조사

3.1 대상건물의 개요 및 선정

1) 건물개요

건물은 부산 및 울산광역시의 해변으로부터 1.5km 이내에 소재한 총 9개의 RC조 건물을 선정하였으며, 연구대상 건물의 개요는 표7과 같다.

6) 지하철 건설본부, “지하구조물 내구성확보를 위한 연구용역 보고서”, 1999

7) 서울특별시 기술심의관실, 콘크리트 구조물의 부식상태조사 및 방지대책(부록), 1997

5) 이종득, “철근부식 진단”, 콘크리트 구조물의 내구성진단 시리즈, 일광, 1996.5.30

2) 선정사유

염해와 중성화 피해를 받은 것으로 추정되는 구조물로서 균열 발생이 심하고, 피복 콘크리트의 탈락, 철근의 단면결손 등의 관찰이 가능한 건물들을 연구 대상으로 선정하였다.

구조물들은 육상에서 건설되는 구조물과는 판이하게 다른 특수성을 갖는 것으로 나타났다. 이는 해수 중에 포함된 각종 염분에 의한 침식작용이나 가혹한 기상 및 기상작용의 직접적인 폭로, 건설 후의 보수 및 보강공사의 어려움 등으로 구조물의 내구성에 보다 특별한 배려와 해

표 7. 중성화 시험 요령

측정면	청소방법·전처리법	시약의 분무 시기	중성화 깊이 측정 시기(분무후의 경과시간)
<ul style="list-style-type: none"> 현장 떼내기 V커트 면 코어 할렬면 	blow 뽑기	직후	직후
		3-6시간 후	1-10분 후
		1-7일 후	1분-2일 후
	blow 뽑기 후 물 축입	직후-1일 후	직후
		2-4일 후	직후-2일 후
5-7일 후		직후	
<ul style="list-style-type: none"> 임의추출 코어 표면 콘크리트 커터 절단면 수중 양생후 콘크리트 	물씻기 후 표면건조	1일 후	10분-2일 후
<ul style="list-style-type: none"> 수중 양생후 콘크리트 커터 절단면 	blow 뽑기	직후-1일 후	직후
	물 씻기 후 표면 건조, 분무 전 물축입	1일 후	10분-2일 후

표 8. 연구대상 건물 개요

건물 명	소재지	사용기간(년)	해안에서의 거리(m)
I	부산시 중구	28	10
II	부산시 영도구	13	10
III	부산시 수영구	29	1000
IV	울산시 동구	18	400
V	부산시 북구	16	1000
VI	부산시 남구	9	1500
VII	울산시 남구	33	1000
VIII	부산시 영도구	30	1000
IX	부산시 서구	35-38	5

3.2 대상 건물의 노후화 현황

각각의 건물에 대한 노후화 현황 결과는 표 10과 같다.

3.3 염해(鹽海) 피해 평가

해양환경 하에 건설된 철근콘크리트 구조물의 경우 구조물의 외부로부터 침투되는 염분의 영향으로 내륙 지역에 비해 염화물의 함유량이 많은 것으로 피해 사례 연구 결과 조사되었다. 특히, 해안에 인접한 건물일수록 콘크리트면이 해수에 직접 노출되어 많은 양의 염분이 콘크리트 내부로 침투, 확산하여 철근 주위의 부동태 피막을 파괴하게 되므로 철근의 부식이나 단면결손이 신속하게 진전되어 다른 지역의 건물보다 많은 피해가 발생되고 있었다. 표7은 해안에서의 거리와 콘크리트 표면 해염 입자의 농도비를 나타낸 기존의 자료이며, 그림8은 조사분석결과에 따른 해안에서의 거리와 평균염분농도의 관계를 나타낸 그래프이다. 표9와 그림8에서 알 수 있듯이 해안에서의 거리가 가까울수록 해염 입자의 농도비와 평균염분농도가 높은 것으로 나타나 해양환경에서 구축되는

표 9. 해안에서의 거리와 콘크리트 표면 해염입자의 농도비

해안에서의 거리 (m)	50	10	150	200	250	500	1000	1500	2000
해염 입자의 농도비 α	0.5	0.25	0.15	0.12	0.1	0.07	0.05	0.045	0.04

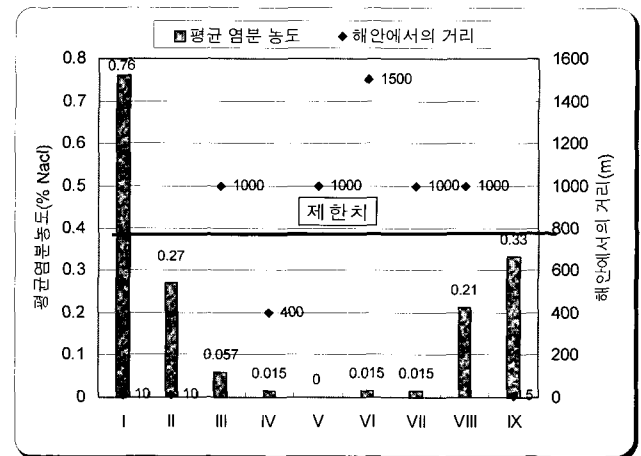


그림 7. 해안과의 거리와 염화물 관계

양구조물 건설에 있어 구조형태, 재료의 품질, 설계 및 시공품질관리 등 포괄적이며 신중한 검토가 요구된다.

3.4 중성화 피해 평가

1) 중성화 진행속도의 평가

콘크리트의 중성화속도식은 지금까지 가능한 여러 가지 형태로 표현하고 있으며 콘크리트 중성화 진행속도에 미치는 다양한 외적·내적 요인을 가미하여 실험적으로 구하는 연구는 지금까지도 수많은 연구가 진행되어져 오고 있다. 중성화 진행속도의 평가에는 중성화 깊이를 경과년수의 함수로 나타내는 다음 식이 많이 채용된다.

표 10. 각각의 건물에 대한 노후화 결과

구분	시설물 종류	염분 농도 (%NaCl)	중성화 깊이(cm)		평균 압축강도 (kgf/cm ²)	균열 현황	발청 상황
			이론치	조사치			
I	시장	0.461~1.059(0.760)	1.97	5.5~13(8.52)	150이하	피복탈락	일부 단면 결손
II	근린생활시설	0.011~0.562(0.270)	1.34	1.8~5.4(3.45)	154.86	피복탈락	일부 단면 결손
III	근린생활시설	0.004~0.123(0.057)	2.01	10~42(24.67)	80	피복탈락	단면 결손 시작
IV	전화국	0.013~0.0175(0.015)	1.58	1.3~4.0(2.65)	215-219	0.4mm 이내	확인불가
V	의료시설	-	1.49	1.1~2.0(1.6)	246-256	없음	없음
VI	교육시설	0.014~0.016(0.015)	1.12	5.5~5.9(5.7)	223	0.4mm 이내	확인불가
VII	공장시설	0.013~0.017(0.015)	2.14	1.5~2.0(1.8)	208	없음	없음
VIII	주거	0.145~0.312(0.207)	2.04	3.0~5.0(4.0)	228	0.6mm 이내	표면 발청
IX	관광시설	0.065~0.560(0.329)	2.30	3.5~7.0(5.25)	207	피복탈락	단면 결손 극심

안곡(岸谷)식

$$t = \frac{7.2}{R^2 (4.6w - 1.76)^2} x^2$$

여기서, x : 중성화 깊이, t : 경과년수(년)
 w : 물시멘트비 R : 중성화 비율로서
 w 와 R 값을 각각 0.6과 1.0으로 적용하면 $t = 7.2 x^2$ 이 된다.

본 연구 대상 건물의 중성화 속도 조사결과 이론적인 중성화 계산치는 $y = 7.2 x^2$ 식에 따르면 실제 조사치와 비교한 결과 V, VII건물 외에는 모든 건물들이 이론치보다 조사치가 높게 나타나 유지관리가 부족하였던 것으로 조사결과 나타났다. 그러나, VIII건물은 유지관리 상태가 유효하여 사용년수가 30년을 초과하였음에도 20년 정도의 중성화가 진행된 점으로 보아 유지관리만 잘하면 건물의 수명을 크게 연장할 수 있을 것으로 조사결과 나타났다.

조사분석결과 구조물의 내구성상 수명단축이 우려되는 건물은 조사대상 9개 건물들 중 5개 현장으로 조사되었다. 전체적인 중성화 속도의 이론적 계산치와 실제 조사치의 관계는 그림9와 같다.

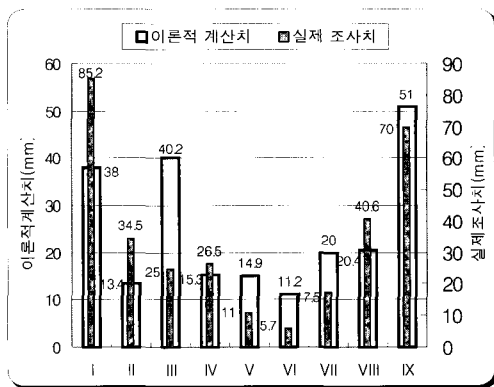


그림 8. 이론치와 조사치의 관계

2) 중성화 깊이와 압축강도 평가

건물이 시공될 당시에 일반적으로 사용되던 평균 콘크리트 압축강도는 180~210kgf/cm² 정도로 추정하여 중성화 깊이와 압축강도의 관계를 조사하였다.

조사결과 건물 I 은 중성화 깊이가 5.5~13cm로 철근의 피복두께 이상으로 중성화 깊이는 초과되었고, 콘크리트 강도에서도 대부분이 150kgf/cm²이하였으며, 100kgf/cm²이하인 곳도 전체의 50%로 매우 낮게 조사되었고, 건물주요 구조부재의 최소 강도인 150kgf/cm²이상인 곳이 전체의 7%로 매우 낮았다. 건물 II 역시 중성화 깊이가 1.8~5.4cm로 철근의 피복두께 이상으로 중성화 깊이는 초과되었고, 압축강도는 대체로 양호하나 균열이 심하고 철근의 부식으로 피복 탈락 현상이 관찰되었다. 그리고, 건물 IX는 중성화 깊이가 최대 7cm로 대부분이 각 부재의 피복두께 이상 진행되었고, 평균기준강도는 평균압축강도에 근사했으나, 변동계수에 콘크리트 품질이 33%를 초과하는 상태로 전체적으로 불균등한 강도를 나타내는 불량한 상태로 조사되었다.

하지만, 건물 III~VIII까지는 중성화 깊이와 속도가 대체로 양호하고 압축강도 역시 콘크리트 강도가 평균추정설계기준강도 180kgf/cm²에 비해 상회하는 조사 결과 나타나 하여 대체적으로 양호한 것으로 분석되었다.

전체적인 중성화 깊이와 압축강도의 관계는 그림9와 같다.

3.5 염화물과 중성화의 관계

본 연구 대상 건물의 염해와 중성화의 조사결과를 보면 건물 I의 염화물은 염소이온농도 함유량 기준치인 0.04%를 넘어 0.461%로 기준치보다 높았고 염분농도로 환산하면 0.76%로 기준치 0.04% 보다 많이 높았으며, 중성화 역시 철근 피복두께보다 2배 이상으로 심하게 진행되어 있었다. 건물 II 역시 염분함유량 측정치가 염화물 총량규제 기준치 NaCl 0.04%보다 1.5~14배 이상 정도로

크게 나타났고, 중성화도 2.1~5.4cm로 이미 많이 진행된 것으로 조사되었다. 그리고, 건물IX도 바다와 인접해 있어 측정 부위 전부가 기준치인 0.04%이상의 염화물이 측정되어 염화물에 의한 상당한 피해를 받고 있었으며, 중성화 역시 최대 7cm로 많은 부분이 철근 피복두께 이상 진행되어 건물의 노후화가 많이 진행되어 있었다.

하지만, 건물III~VIII은 염화물의 농도가 기준치에 도달하지 않아 대체적으로 염해에 대한 피해는 없는 것으로 나타났으며, 중성화 속도 역시 대체적으로 양호한 것으로 조사되었다. 염화물과 중성화의 관계의 전체적인 조사 결과는 그림 10과 같다.

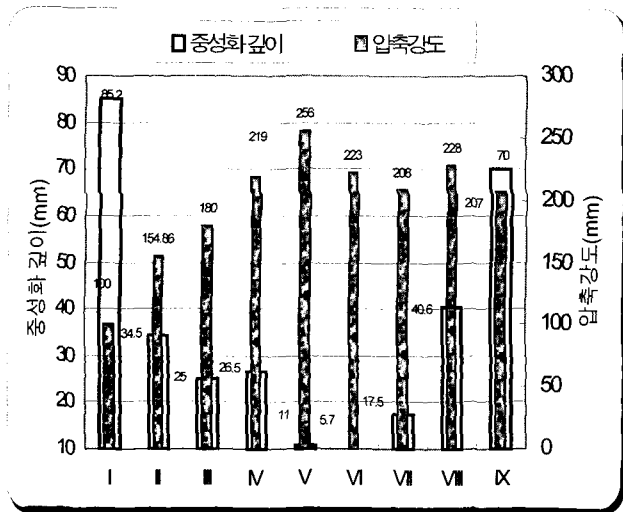


그림 9. 중성화 깊이와 압축강도의 관계

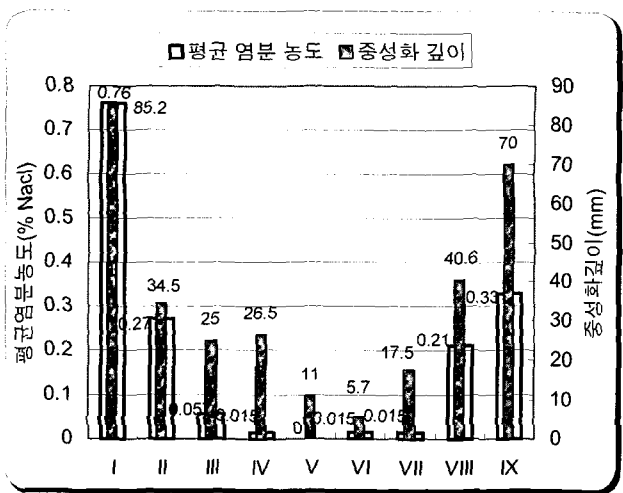


그림 10. 염화물과 중성화 깊이의 관계

4. 결론

부산 및 울산지역의 인접한 콘크리트 구조물들은 내륙 지역보다 해수에 직접 노출되어 외부에서 침투되는 염분이 많기 때문에 콘크리트 내부에 염화물이 다량 침투 확산하여 철근 주위의 부동태 피막이 파괴되고, 철근의 부

식이 급진전하게 된다. 이때, 철근 자체의 단면 손실과 체적 팽창으로 콘크리트 주위에 균열이 발생하고 이러한 균열은 점차적으로 콘크리트 내부에서부터 표면까지 진전되어 박리 및 탈락현상이 발생하여 콘크리트의 내구성을 저하시켜, 심한 경우 구조물이 붕괴에 이를 수도 있다.

따라서, 본 연구에서는 해안지역에 인접한 콘크리트 구조물들의 염해와 중성화의 피해 정도를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 해양환경하에 노출된 건물은 염분의 직접적인 영향으로 내륙 지역의 소재 건물에 비해 염화물량이 많았다.
- 2) 염화물의 침투 확산으로 콘크리트의 중성화가 철근 피복 두께 이상까지 진행되었다.
- 3) 콘크리트 중성화와 염해가 중첩된 노후 건축물에서 단면 결손이 발생되고 있었다.
- 4) 콘크리트 내부에서부터 표면까지 균열이 진전되어 콘크리트의 박리 및 탈락이 일어나는 등 내구성이 저하되어 건축물의 수명을 크게 위협하고 있었다.

이상의 결과를 종합할 때 해안 인접 건물들은 대부분 염해와 중성화 피해가 중첩되어 균열로까지 진전되었으나, VII건물처럼 마감과 유지관리가 양호한 건물은 중성화와 염해 피해가 거의 없는 것으로 나타나 유지관리가 대단히 중요한 것으로 나타났으며, 추후 중성화 염해 피해의 복합적 진전성 등에 대해 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

1. 대한건축학회 건축학 전서8, "건축시공", 기문당, 1997.8
2. 한국콘크리트학회, 최신 콘크리트공학, 1999
3. 한국콘크리트학회, "내구성, 보수·보강 방수 연구위원회 발표집", 한국콘크리트학회 2001.5
4. 신철수, 염소이온량에 따른 철근 콘크리트의 염해 및 내구 특성에 관한 연구, 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1999
5. 김규태, 콘크리트 구조물의 중성화에 따른 사용 연출 도출에 관한 연구, 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1999
6. 일본토목학회, 콘크리트표준시방서(유지관리편), 2001.1
7. (社)日本コンクリート工學協會 : 耐久性診断研究委員會 報告書, 1989, 6
8. (社)日本コンクリート工學協會 : 콘크리트構造物の腐食・防食に關する試験方法ならびに規準(案), 1987, 4
9. 岸谷李一, 小林一輔, 慳野紀元, 宇野一 : 鹽化物を含むコンクリート中における鐵筋腐食と中性化の關係, 콘크리트工學論文集 第2卷, 第1号, pp.77~84, 1991, 1
10. 小林一報, 宇野一 : 콘크리트의炭酸化に關する研究(III), 生研究, 40卷 11号, pp.30~32, 1988, 11
11. 和泉意登志, 押田文, 黃英 : 콘크리트의中性化深さ測定法の標準化に關する研究, 第10回コンクリート工學協會論文集, 10-2, pp.425~430, 1988