우리나라의 비래염분 분포 특성

이종석^{1)*} · 안기홍¹⁾ · 김도겸¹⁾ · 박정준¹⁾

¹⁾한국건설기술연구원 구조교량연구실

Distribution Properties of Airborne Chlorides in Korea

Jong-Suk Lee,^{1)*} Ki-Hong Ahn,¹⁾ Do-Gyeum Kim,¹⁾ and Jung-Jun Park¹⁾

¹⁾Structural Engineering & Bridges Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea

ABSTRACT Concrete structures immersed in seawater are exposed to uniform chloride concentration. However, seashore concrete structures are subjected to various airborne chlorides concentration depending on areas, distance from seashore, orientation of structures and wind direction etc. Therefore, structures which is not coming into direct contact with seawater are greatly affected by salt attack and those cases have been reported. This study intends to investigate salt attack by airborne chlorides in terms of the distance from the seashore based on the measurements conducted at 73 spots and 27 areas during 3 years in the Eastern, Western and Southern coasts of South Korea. Results revealed large regional variations of the salinity in coastal regions along with significant seasonal effects caused by seasonal winds. Moreover, the salinity is seen to diminish as the distance from the seashore increases at a rate corresponding to the function $y = ax^{-b}$. These results will be helpful to do the durability design and management of seashore structures.

Keywords : airborne chlorides, seashore, salt attack, area index, distance

1. 서 론

해양 환경하에 건설된 콘크리트 구조물은 장기간 염해 환경에 노출됨에 따라 구조물 내부로의 염화물 침입 및 이에 따른 철근의 부식 등이 심각하게 발생할 수 있다. 수많은 연구자들이 이러한 문제를 해결하기 위하여 노력하여 왔다.¹⁻⁴⁾ 그러나, 해수와 직접적인 접촉을 하지 않는 해안 인근의 콘크리트 구조물에서 발생하는 염해와 이에 대한 근본적인 연구에 대해서는 많은 연구가 진행되지 못하였다.⁵⁻⁸⁾

해수와 직접 접하지 않는 구조물의 염해는 주로 대기 중의 비래염분에 의해서 발생하게 된다. 비래염분은 파도에 의해 부서지는 해수에서 발생하는 것으로 대기중에 부유하여 해풍이나 계절풍 등에 의해 내륙으로 날아 들어와 구조물에 염해를 발생시키게 된다. 이에 비래염분을 측정평가하는 것은 콘크리트 구조물의 설계시공 및 유지관리에 중요한 기초자료로 활용될 수 있다.

일본의 경우 일본토목연구소에서 이미 3년간에 걸친 전국 해안의 비래염분 측정을 완료하여 해안 인근 콘크리트 교량의 염해대책 방법을 강구하였다.⁹⁾ 그러나, 일

본의 비래염분량 전국조사는 일본 토목연구소의 스테인리스식 포집기를 사용하여 비래염분의 포집성능에 있어 문제점이 지적되었을 뿐만 아니라,¹⁰⁾ 비래염분은 계절풍, 지역풍, 해안의 형상, 조수간만의 차이, 수심 및 지리적 위치 등 환경적인 요인이 지배적인 변수로서 지역적인 편차가 매우 크게 나타나기 때문에 일본에서 측정되었던 비래염분 관련 자료들은 참고자료로서만 활용이 가능할 것으로 판단된다.

따라서, 이 연구에서는 동해, 서해, 남해안의 27개 지역, 72개 지점을 선정하여 '03년 7월부터 '06년 6월까지 매월 1회 1개월간의 누적 비래염분량을 3년간 측정하여 우리나라의 비래염분 분포의 특성을 파악하고자 하였다.

2. 현장 측정 개요

2.1 비래염분 측정 장치

비래염분을 측정하기 위한 장치는 Figs. 1, 2와 같은 비래염분 포집기와 거치대로서 구성하였으며, Fig. 1의 포집기는 일본공업규격(JIS Z 2382)에서 제안된 건식 거즈를 사용하는 비래염분 포집기¹¹⁾ 및 일본 토목연구소에서 제작한 스테인리스식 비래염분 포집기⁹⁾와 비교실험을 거쳐 비래염분 포집에 있어 우수한 성능이 입증된 포집기이다.¹⁰⁾

*Corresponding author E-mail: jslee@kict.re.kr

Received June 10, 2010, Revised September 4, 2010,

Accepted October 19, 2010

©2010 by Korea Concrete Institute

Fig. 1 Measurement device for airborne chlorides

Fig. 2 Fixation rack of measurement device

이 연구에 사용된 비래염분 포집기는 Fig. 1과 같이 포집면적이 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 이며, 박스 내부에는 $100\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ 포집판을 2개 설치하였으며, 포집된 비래염분이 비바람에 의하여 유실되지 않도록 20 mm 높이의 차단막이 설치되어 있다.

비래염분 포집기 거치대는 비래염분 포집기가 소정의 높이(2 m)에서 빗물 등 외기환경의 영향을 최소로 하면서 정량적인 포집이 이루어 질 수 있도록 Fig. 2와 같이 구성하였다.

2.2 측정기간 및 장소

비래염분의 측정은 '03년 7월부터 '06년 6월까지 3년

동안 실시되었으며, 매월 1회, 1개월간의 비래염분량을 측정하였다.

측정 지역은 Fig. 3과 같이 27개 지역, 72개 지점으로 동해안 9개 지역, 서해안 10개 지역, 남해안 8개 지역이었다. 각 측정 지역간 거리는 약 50 km 정도이며, 1개 지역당 2개소를 기본으로 하였으며, 각각 해안으로부터 거리 $5\sim 30\text{ m}$, $50\sim 200\text{ m}$ 의 범위에 설치하였다.

또한 각 해역별 2개씩 총 6개 지역을 선정하여 해안으로부터 거리별로 측정장치를 설치하였다.

동해안의 경우 울진과 속초지역에 비래염분 포집장치를 설치하였으며, 울진지역의 경우 해안으로부터 거리 $30, 70, 130, 200, 500\text{ m}$ 지점, 속초지역의 경우 $10, 40, 200, 500, 1,000, 2,000, 5,000\text{ m}$ 지점이 해당된다.

서해안에는 변산지역에 해안으로부터 거리 $10, 60, 120, 200, 500\text{ m}$ 지점, 고창지역에 $10, 60, 120, 200, 500, 1,000, 2,000, 5,000\text{ m}$ 지점, 그리고 남해안에는 장흥지역에 $10, 60, 120, 200, 460, 1,000, 2,000\text{ m}$ 지점, 사천지역에 $30, 60, 120, 230, 430\text{ m}$ 지점에서 비래염분 측정장치를 설치하였다.

2.3 비래염분의 분석

비래염분 포집에 사용되는 거즈는 의료용 거즈를 증류수에 1일 동안 침지하여 불순물을 제거한 후 사용하였으며, 1개월간의 포집이 끝난 거즈시료는 500 g 증류수가 담긴 비이커에 넣고 잘 저어 3시간 이상 방치한 후 약 5분 간격으로 3회 이상 휘저어준 다음 질산에 의한 침전 적정법을 사용하여 염화물을 측정하였다.

비래염분량을 표시하는 단위는 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 의 면적을 통과하여 포집되는 1일 동안의 염분량으로 $\text{NaCl mg}/100\text{ cm}^2/\text{day}$ (이하 mdd)와 같이 나타내었다.

Fig. 3 Distribution of the salinity measurement devices in the peninsula

2.4 100 m 지점 비래염분량으로의 환산

각 지역별 비래염분량은 해안으로부터 거리가 일정하지 않은 지점에서 측정되었기 때문에 측정결과를 직접적으로 비교할 수가 없다. 따라서, Table 1과 같이 각 지역에서 측정된 결과를 해안으로부터 100 m 지점의 거리에서 측정된 결과로 환산하였다.

각 지역별로 비래염분의 측정지점이 100 m 이하에만 있는 경우(식 (1))와 100 m이하와 이상의 지점에 동시에 측정지점이 있는 경우(식 (2))를 분리하였다.

적용되는 비래염분 감소율은 3.3절의 해안으로부터 거리에 따른 감소량에서 구하여 적용하였다.

- 100 m 이하 지점에서의 측정자료만 있는 경우

동해안의 주문진, 부산, 서해안의 인천, 아산만, 천수만, 함평, 목포, 남해안의 고흥, 광양, 진해지역이 해당되며, 환산식은 다음과 같다.

$$C_{100m} = \frac{D_{100m} \times S_a}{D_a} \quad (1)$$

여기서

C_{100m} : 100 m 지점의 환산 비래염분량(area index, mdd)

D_a : a 지점의 비래염분 감소율(%)

S_a : 100 m 이전 지점 a의 비래염분량(mdd)

D_{100m} : 100 m 지점의 비래염분 감소율(%)

Table 1 Measured airborne chlorides in the areas

Areas	Distance from sea (m)	Measured values (mdd)	Areas	Distance from sea (m)	Measured values (mdd)
Goseong	20	11.8	Ganghwa1	5	3.0
	210	2.3	Ganghwa2	5	2.4
Sokcho	40	3.6	Incheon	40	1.6
	200	1.7	Asan Bay	70	1.2
Jumunjin	60	9.6	Taeon	100	16.0
Samcheok	90	7.0	Cheonsu Bay	70	1.0
Uljin	60	8.5	Boryeong	15	11.3
	130	3.7		230	3.2
Yeongdeok	100	3.0	Byeonsan	60	2.1
				120	2.3
Pohang	100	6.2	Gochang	100	11.4
Ulsan	50	14.9	Ham pyeong	70	4.8
	160	4.0			
Busan	5	10.5	Mokpo	30	1.6
Haenam	10	2.7	Sacheon	60	1.9
	115	2.0		120	1.5
Jangheung	60	1.3	Geoje	15	6.6
	130	1.1		150	3.2
Goheung	70	0.7	Masa	10	1.7
Gwang yang	5	1.8		170	0.9
			Jinhae	5	1.3

- 100 m 이하 및 이상의 지점에서 측정자료를 모두 확보하였을 경우

동해안의 고성, 울산, 속초, 울진, 서해안의 보령, 변산, 남해안의 해남, 장흥, 사천, 거제, 마산이 해당되며, 환산식은 다음과 같다.

$$C_{100m} = S_a - (S_a - S_b) \left[\frac{(D_a - D_{100m})}{(D_a - D_b)} \right] \quad (2)$$

여기서

S_a : 100 m 이전 지점 a의 비래염분량(mdd)

D_a : a 지점의 비래염분 감소율(%)

S_b : 100 m 이후 지점 b의 비래염분량(mdd)

D_b : b 지점의 비래염분 감소율(%)

D_{100m} : 100 m 지점의 비래염분 감소율(%)

3. 측정 결과 및 고찰

3.1 지역별 비래염분량

전국 해안가의 27개 지역에서 3년간 측정된 자료를 해안으로부터 거리 100 m 지점의 비래염분량으로 환산한 값을 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서 보면, 동해안의 경우 지역별로 2.2~7.6 mdd 정도로서 부산지역이 가장 적게 나타났고, 주문진 지역이 약 7.6 mdd로 가장 크게 나타났다. 그 외의 지역은 4~7 mdd로서 지역간의 편차가 비교적 크게 나타나지는 않았다.

서해안의 경우, 고창과 태안에서 각각 11.4, 16.0 mdd의 높은 비래염분량을 나타내었으며, 보령과 함평의 경우 4.5 전후, 그 외의 지역에서는 1 mdd 부근의 비교적 적은 비래염분량을 나타내어 지역차가 심하게 나타났다. 이렇게 심한 지역적 편차가 나타나는 것은 서해안이 동해안에 비해 해안의 형상이나 수심 등 국지적인 환경이

Table 2 Area index of airborne chlorides (C_{100m})

The Eastern Coast		The Western Coast		The Southern Coast	
Areas	Area index	Areas	Area index	Areas	Area index
Goseong	4.3	Ganghwa1	1.0	Haenam	2.0
Sokcho	2.4	Ganghwa2	0.8	Jangheung	1.2
Jumunjin	7.7	Incheon	1.1	Goheung	0.7
Samcheok	6.7	Asan Bay	1.0	Gwangyang	1.2
Uljin	5.1	Taeon	16.0	Sacheon	1.6
Yeongdeok	3.0	Cheonsu Bay	0.9	Geoje	3.5
Pohang	6.2	Boryeong	4.7	Masan	1.1
Ulsan	7.6	Byeonsan	2.2	Jinhae	0.9
Busan	2.2	Gochang	11.4	Unit : mdd (NaCl mg/100cm ² /day)	
		Ampyeong	4.2		
		Mokpo	1.0		

다양한 것에 기인하는 것으로 사료된다.

남해안의 경우, 전반적으로 0.7~3.5 mdd 정도의 적은 비래염분량을 나타내었으며, 거제의 경우에만 상대적으로 높은 비래염분량을 나타내었다. 거제지역을 제외하면 전반적인 지역적인 편차는 1 mdd 이내로 매우 적게 나타났다. 이것은 남해안이 전반적으로 비래염분량이 적게 발생하는 환경이면서 각 지역별로 비슷한 비래염분 발생 환경을 갖고 있기 때문으로 분석된다.

다만, 동일 지역에서도 해안선의 방향 및 형상 등 국부적인 비래염분 환경이 크게 다를 경우 비래염분량의 추정은 추가적인 고려가 필요하다.

동해, 서해, 남해안의 각 해역별 비래염분량에 대한 연차별 증감을 Fig 4에 나타내었다. 연차별 비래염분량은 각 해역별 전 지역의 해안으로부터 거리 100 m 지점의 환산 비래염분량의 총 평균으로 나타내었다.

Fig. 4에서 보면, 전반적인 비래염분량은 동해안 > 서해안 > 남해안의 순으로, 동해안은 남해안의 약 3배 정도로 비래염분이 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 서해안은 동해안보다 조금 낮은 경향을 나타내었다.

동해안이 다른 해역보다 상대적으로 많은 비래염분량이 측정된 것은 조수간만의 차가 적고, 수심이 깊으며, 상대적으로 강한 파도가 발생하여 비래염분이 발생할 수 있는 좋은 조건이 되기 때문으로 판단된다. 서해안의 경우는 북서계절풍의 영향으로 비래염분이 겨울철에 집중적으로 많아지는 것이 서해안의 비래염분량을 높이는 원인이 되었다. 그러나, 남해안의 경우는 수심이 얕고 만(灣)이 발달하여 비래염분이 발생하기 매우 어려운 조건인 것으로 분석된다.

3.2 비래염분량의 계절적 변동

계절별 비래염분량의 변화를 검토하기 위하여 측정 대상 지역의 연간 비래염분량 분포를 Figs. 5~7과 같이 해역별로 나타내었다.

각 그림에서 비래염분량이 가장 많이 발생한 월(月)의 값을 기준값 100으로 설정한 후 상대적인 비율값으로 대

Fig. 4 Average airborne chlorides converted into a distance of 100 m in each coastal zones

Fig. 5 Seasonal variation of airborne chlorides (3 years average - Eastern coast)

Fig. 6 Seasonal variation of airborne chlorides (3 years average - Western coast)

Fig. 7 Seasonal variation of airborne chlorides (3 years average - Southern coast)

상 지역에서 측정된 비래염분의 총량을 나타내었다.

동해안의 경우 계절별로 특이한 경향을 나타내지 않았으나, 상대적으로 여름철이 많은 비래염분량을 나타내었으며, 서해안은 11월~3월에 이르는 겨울과 봄에 상대적으로 많은 비래염분량을 나타내었다.

남해안의 경우 7월~9월에 이르는 여름철에 상대적으로 많은 비래염분량이 나타났다.

또한, 동해안의 경우가 다른 해역에 비해 상대적으로 계절적인 영향을 적게 받았으며, 서해안의 경우가 계절적인 증감의 차이를 가장 극심하게 받는 것으로 나타났다.

이러한 계절적인 증감이 발생하는 것은 Fig. 8과 같은 계절풍에 의한 것으로 분석될 수 있다.¹²⁾ 우리나라는 겨울철에 북서풍이 강하게 부는데 이러한 계절풍에 의해 내륙방향으로 비래염분이 많이 흘러갈 수 있는 지역적 특성을 가진 곳은 서해안이 된다.

남해안의 경우 겨울철 북서풍이 불 경우 내륙에서 해안방향으로 바람이 불기 때문에 계절풍에 의한 비래염분의 양은 그다지 증가하지 않았다. 그러나, 여름철의 경우 계절풍은 남동풍이 되어 남해안의 비래염분량을 증가에 기여하는 것으로 판단된다.

반면, 동해안이 우리나라의 계절풍에 크게 영향을 받지 않는 것은 겨울철 서해안 지역이 북서풍의 계절풍일 때, 태백산맥 동편은 서남서 혹은 남서풍이 되기 때문에 판단된다. 이것은 태백산맥이 장벽으로 작용함으로써 풍향이 반시계 방향으로 전향된 결과이다. 한편, 여름철에는 타 지역이 남동풍일 때 속초, 울진 등의 동해안 지역은 태백산맥의 영향으로 남풍 계열 바람이 주를 이루고 있어 비래염분량의 증가에 그다지 기여하지 못한 것으로 판단된다.

다만, 우리나라에서 여름철에 주로 발생되는 태풍에 의해 일시적으로 남해안과 동해안에 비래염분량이 많아지는 경향도 반영된 것으로 판단된다.

따라서, 서해안에서 비래염분 환경하에 있는 해안구조물의 경우 북서쪽으로 향한 부재가 비래염분에 의한 염해에 가장 취약한 부위가 될 것으로 판단되며, 남해안의 경우 남동쪽으로 향한 부재가 상대적으로 취약할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 해안으로부터 거리별 비래염분 감소 경향

해안으로부터 거리에 따른 비래염분의 감소경향에 대한 각 해역별 세부경향은 다음과 같다.

3.3.1 동해안

동해안의 경우, 속초지역과 울진지역에서 각각 측정이 이루어졌으며, 측정 결과를 Figs. 9~11에 나타내었다.

Fig. 8 Seasonal wind of Korea

Fig. 9 Reduction of airborne chlorides according to the distance from the sea (Sokcho)

Fig. 10 Reduction of airborne chlorides according to the distance from the sea (Uljin)

Fig. 11 Decreasing rate of airborne chlorides (Sokcho, Uljin)

Figs. 9, 10은 비래염분 감소량을 해안으로부터 거리별로 나타낸 것으로, 3년간의 평균 비래염분량을 회귀분석하여 실선으로 나타내었다. 그림에서 보면 속초지역의 비래염분량 감소함수는 $y_d = 20.568x^{-0.4458}$, 울진지역은 $y_d = 43.224x^{-0.5193}$ 로 나타났다. 이것을 해안으로부터 거리별 감소율의 함수로 나타낼 경우 Fig. 11과 같이 나타낼 수 있으며, 이때의 감소율 함수는 각각 $y_r = 278.52x^{-0.4466}$, $y_r = 330.6x^{-0.5193}$ 로 나타났다.

비래염분 감소율의 함수는 비래염분 감소량의 함수가 실제 측정값으로 이루어져 있어 동일 해역에서 측정된 다른 지역의 함수와 비교가 시각적으로 불편하기 때문에 편의상 해안거리가 10m일 때 y의 값이 100으로 설정될

수 있도록 a의 값을 재산정한 것이다. 또한, 이것으로 속초나 울진지역과 같이 해안으로부터 거리별 다양한 비래염분량에 대한 자료가 없는 즉, 해안으로부터 1~2개 지점의 거리에서의 자료만을 가지고 있는 지역에서 특정 거리에 있는 지점의 비래염분량을 추정할 수도 있다.

Fig. 11에서 보면, 속초지역의 경우 해안으로부터 거리 2,000 m 이후, 울진지역은 1,000 m 이후에서 비래염분 감소가 10% 이하로 떨어지는 것으로 나타났으나 지역간의 큰 차이를 보이지는 않았다.

비래염분량의 감소율이 비슷하게 나타난 것은 동해안의 해안선이 단조롭고 지역별 환경이 크게 차이가 나지 않기 때문으로 판단된다.

따라서, 속초, 울진지역 이외의 동해안 지역에서 비래염분 감소율 함수의 선택적 적용에 있어서 속초 인근 지역인 고성, 주문진, 삼척지역은 속초지역, 울진 이남지역인 영덕, 포항, 울산, 부산은 울진의 감소율 함수를 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3.2 서해안

서해안의 경우, 고창지역과 변산지역에서 각각 측정이 이루어졌으며, 측정결과를 Figs. 12~14에 나타내었다.

Figs. 12, 13은 비래염분 감소량을 해안으로부터 거리별

Fig. 12 Reduction of airborne chlorides according to the distance from the sea (Gochang)

Fig. 13 Reduction of airborne chlorides according to the distance from the sea (Byeonsan)

Fig. 14 Decreasing rate of airborne chlorides (Gochang, Byeonsan)

로 나타낸 것으로, 3년간의 평균 비래염분량을 회귀분석한 결과, 고창지역의 비래염분량 감소함수는 $y_d = 66.353x^{-0.4208}$, 변산지역은 $y_d = 12.156x^{-0.3716}$ 로 나타났다.

이것을 해안으로부터 거리별 감소율의 함수로 나타낼 경우 Fig. 14와 같이 나타낼 수 있으며, 이때의 감소율 함수는 각각 $y_r = 298.85x^{-0.4467}$, $y_r = 235.29x^{-0.3716}$ 로 나타났다.

Fig. 14에서 보면 서해안 고창지역의 경우 2,000 m, 변산지역의 경우 5,000 m 거리에서 비래염분 감소가 10% 이하로 떨어지는 것으로 나타났으며, 해안으로부터 거리 약 1,000 m까지 지역간에 5~10%의 감소율 차이를 보이고 있다. 전반적으로 동해안 보다 감소경향이 작게 나타났다.

해안거리에 따른 비래염분량의 감소가 크다는 것은 입자가 크고 무거운 비래염분의 발생이 상대적으로 많다는 것을 의미한다. 입자가 크고 무거운 비래염분은 해안 인근의 비래염분량을 크게 높이지만 멀리 날아서 이동하기에는 강력한 해풍이 필요하기 때문에 해안으로부터 거리가 멀어지면 비래염분의 감소율은 둔화된다. 따라서, 서해안의 경우 상대적으로 비래염분량의 발생이 많은 태안과 보령지역은 고창지역의 비래염분 감소식, 그 외의 지역인 강화, 인천, 아산, 천수만, 함평, 목포지역은 변산지역의 감소식을 적용시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3.3.3 남해안

남해안의 경우, 장흥지역과 사천지역에서 각각 측정이 이루어졌으며, 측정결과를 Figs. 15~17에 나타내었다.

Figs. 15, 16은 비래염분 감소량을 해안으로부터 거리별로 나타낸 것으로, 3년간의 평균 비래염분량을 회귀분석한 결과, 장흥지역의 비래염분량 감소함수는 $y_d = 2.0897x^{-0.1257}$, 사천지역은 $y_d = 15.434x^{-0.5144}$ 로 나타났다. 이것을 해안으로부터 거리별 감소율의 함수로 나타낼 경우 Fig. 16과 같이 나타낼 수 있으며, 이때의 감소율 함수는 각각 $y_r = 130.55x^{-0.1205}$, $y_r = 326.89x^{-0.5144}$ 로 나타났다.

Fig. 17에서 보면 남해안의 사천지역은 약 1,000 m 지점에서 비래염분 감소율이 10%이하로 떨어져 동해안의 울진지역과 비슷한 경향을 보인 반면, 장흥지역의 해안

Fig. 15 Reduction of airborne chlorides according to the distance from the sea (Jangheung)

Fig. 16 Reduction of airborne chlorides according to the distance from the sea (Sacheon)

Fig. 17 Decreasing rate of airborne chlorides (Jangheung, Sacheon)

거리별 비래염분 감소율은 5,000 m 지점에서도 약 45% 정도로 현저한 차이를 보이고 있다. 이것은 사천지역이 남해안이면서도 동해와 인접한 해안으로 동해안의 특성을 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다.

그러나, 장흥지역은 만(灣)이 발달되어 있고, 수심이 얕아 비래염분의 주 발생요인인 파도가 약한 전형적인 남해안의 특성을 갖고 있는 지역이기 때문에 비래염분의 발생량이 적으며 발생된 비래염분의 입자 또한 작고 가볍기 때문인 것으로 판단된다.

Table 3 Regression function of the airborne chlorides decrease with respect to the distance from the sea

Measured areas		a	b
Eastern Coast	Sokcho	20.568	0.4458
	Uljin	43.224	0.5193
Western Coast	Gochang	66.353	0.4208
	Byeonsan	12.156	0.3716
Southern Coast	Jangheung	2.0897	0.1257
	Sacheon	15.434	0.5144

Airborne chlorides decreasing function $y_d = ax^{-b}$

where, y_d : airborne chlorides (mdd)

x : distance(= 1 m)

a, b: constant

*It is not applicable to the place with direct seawater contact

따라서, 남해안의 각 지역별 적용 감소식에 있어 전형적인 남해안의 특성을 가진 해남, 고흥, 광양, 마산, 진해지역은 장흥지역의 감소식을 따르며, 동해안의 특성을 띠는 거제지역은 사천지역의 감소함수를 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

이상과 같이 비래염분은 해안으로부터 가까운 거리에서 급격히 감소하고 먼 거리에서 완만한 감소를 보이는 $y_r = a \cdot x^{-b}$ 함수의 형태를 보였다.

대부분 해안으로부터 거리 100~150 m까지는 비래염분량이 급감하는 경향을 나타내었으며, 이후에서는 감소 경향이 둔화되는 것으로 나타났다. 각 해역별 비래염분 감소함수를 Table 3에 나타내었다.

4. 결 론

이 연구에서는 우리나라 해안가의 비래염분 분포를 파악하기 위하여 동해, 서해 및 남해안의 27개 지역 72개 지점에서 비래염분을 측정하여, 지역 및 계절별 특성과 해안으로부터 거리별 감소경향에 대하여 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전국 해안을 27개 지역으로 구분하여 각 지역별 지역계수를 도출하였으며, 지역계수는 0.7~16.0 mdd로 지역간의 격차가 심한 것으로 나타났다. 그러나, 동일지역에서도 국부적인 특이환경을 가진 경우 추가적인 고려가 필요하다.
- 2) 우리나라의 비래염분 분포는 계절적인 영향이 강하게 나타났으며, 특히 서해안의 경우 겨울철의 북서계절풍의 영향으로 11월에서 3월까지의 비래염분량이 크게 증가하는 경향을 보였다.
- 3) 각 해역별로 2개 지역을 선정하여 해안으로부터 거리별 비래염분의 감소경향을 분석하였으며, 비래염분량은 해안에서 거리가 멀어질수록 $y_r = a \cdot x^{-b}$ 함수의 추세로 줄어드는 경향을 나타내었으며, 특히 해안으로부터 거리 100~150 m까지 급격한 감소를 나타낸 후 이후 완만한 감소를 나타내었다.

이 연구에서 측정 및 분석된 비래염분에 대한 자료는 우리나라의 해안 인근 구조물의 비래염분에 의해 발생하는 염해에 대한 내염대책 수립 및 구조물 유지관리 등에 기반자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 문한영, 김성수, 류재석, “염분환경하에 있는 모르타르 및 콘크리트 중의 염분 확산에 대한 연구,” 대한토목학회 논문집, 15권, 2호, 1995, pp. 283~292.
2. 문한영, 김홍삼, 이승태, “해수 침식을 받은 콘크리트의 성능저하 원인 규명,” 대한토목학회 논문집, 22권, 1-A호, 2002, pp. 171~179.
3. Cady, P. D. and Weyers, R. E., “Chloride Penetration and the Deterioration of Concrete Bridge Decks,” *Cement Concrete and Aggregates*, Vol. 5, No.2, 1983, pp. 81~87.
4. Andrade, C., “Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurement,” *Cement and Concrete Research*, Vol. 23, 1993, pp. 724~742.
5. Uji, K., Matsuoka, Y., and Maruya, T., “Formation of an Equation for Surface Chloride Content of Concrete due to Permeation of Chloride,” *Corrosion of Reinforcement in Concrete*, Elsevier Applied Science, 1990, pp. 258~267.
6. Riple, A. B. and Suprenant, B. A., “Colorado Department of Highways Chloride Content Evaluation Program for Reinforced Concrete Bridge Decks,” CDOT-DTD-R-92-7, Univ. of Colorado Department of Civil Engineering, 1992.
7. Weyers, R. E., “Concrete Bridge Protection and Rehabilitation, Chemical Physical Techniques, Service Life Estimates,” SHRP-S-668, National Research Council, Washington, DC, 1994.
8. Swatekititham, S., “Computational Model for Chloride Concentration on Concrete Surface under Actual Environmental Condition,” Ph.D Dissertation, Kochi University, Japan.
9. 日本土木研究所, 飛來鹽分量全國調査 (I), ISSN 0386-5878 土木研究所資料 第2203號, 1985.
10. 문한영, 이종석, “해안가 콘크리트 구조물에 비래하는 염분 포집장치 성능에 대한 연구,” 대한토목학회 논문집, 24권, 2A호, 2004, pp. 417~422.
11. JIS Z 2382, 大氣環境の腐食性を評價するための環境汚染因子の測定, 1998.
12. 이종석, “비래염분 측정에 의한 해안 콘크리트 구조물의 표면염분량 추정,” 박사학위논문, 한양대학교, 2006.

요 약 해수에 침적되어 있는 구조물은 일정한 외부 염화물 조건을 가지게 되지만 비래염분의 환경하에 있는 콘크리트 구조물은 지역, 해안으로부터 거리, 구조물의 방향, 풍향 등 주변환경에 따라서 다양한 조건의 외부 염화물 조건을 갖게 된다. 따라서, 해수와 직접 접하지 않더라도 지역적인 특성에 따라 비래염분에 의한 염해를 받을 수 있으며, 그러한 사례들이 보고되고 있다. 그러나, 이러한 비래염분 환경조건을 규명하기는 쉽지 않아 이제까지는 많은 연구가 행하여 지지 못하였다. 따라서, 이 연구에서는 우리나라의 해안가 27개 지역 72개 지점을 선정하여 3년간 대기중의 비래염분에 대한 측정을 실시하여 분석하였다. 그 결과, 비래염분은 지역적 특성이 강하게 나타났으며, 계절적인 영향 또한 크게 나타났다. 또한, 해안으로부터 거리에 따라서 $y = ax^{-b}$ 의 함수의 경향으로 감소하는 것으로 밝혀졌다. 이러한 비래염분 분포에 대한 분석결과는 향후 해안 인근 구조물의 내구성 설계나 유지관리에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 비래염분, 해안, 염해, 지역계수, 거리