

# 국내 해안별 비래염분 특성에 관한 연구

정해문\* · 안태송

<한국도로공사 도로교통기술원>

## 1. 서 론

최근 들어 해양 환경에 건설되는 콘크리트 구조물이 증가함에 따라 콘크리트 구조물의 구조적 성능뿐만 아니라 장기적인 내구성에 대한 관심도 커지고 있는 실정이다. 콘크리트 구조물의 내구성에 영향을 미치는 인자는 여러 가지를 들 수 있으나, 특별히 해양 환경에 건설되는 콘크리트 구조물의 경우 염화물 침투에 의한 철근부식이 내구성 저하에 가장 큰 요인이 되고 있다. 따라서 염화물의 침투에 의한 부식기구를 조사하여 이에 적절한 대책을 수립할 필요가 있으며, 부식의 근원인 염화물의 출처에 대한 조사가 필수적이다. 염화물은 콘크리트의 구성재료, 해수 노출, 제설제, 화재 및 지하수 또는 토양으로부터 오염될 수 있으나, 이러한 염화물 침투요인 중 가장 광범위하게 영향을 미치는 해수노출에 대한 조사와 분석 및 이에 따른 대책이 무엇보다 시급하다고 하겠다.

콘크리트 제조시에 혼입될 수 있는 염화물은 이미 KS 레미콘 규정에서 최대함유량을 규제하고 있으므로, 콘크리트 구성재료로부터 기인하는 염화물의 영향은 최소한으로 배제할 수 있는 반면, 외부로부터 침투하는 염화물, 즉 해양환경에 놓인 구조물이라면 해수노출에 대한 조사와 분석 및 이에 따른 대책이 무엇보다 중요하다.

해수는 거의 염분 농도가 일정하고, 그 영향범위인 구조물의 해수 접촉면을 명확하게 파악할 수 있지만, 해수방울이나 해염입자와 같은 비래(飛來)염분(air-borne chloride)에 대해서는 지형, 차폐물 등에 의해 비래하는 형태가 조금씩 차이

가 나, 그 영향범위와 정도를 파악하기가 어려우므로, 각 해안 지역별 비래 염분량을 측정하여, 비래염분이 콘크리트 표면염화물량에 미치는 영향을 파악하여 들 필요가 있으며, 이를 바탕으로 해안지역 구조물에 대한 적절한 내염대책을 제시해야 한다<sup>1)</sup>. 일본에서는 1984년부터 3년간 전국 266개 해양환경 지점에 대한 비래염분량을 조사해 염해지역 범위를 규정하기도 하였다<sup>2,3)</sup>. 저자 등<sup>4)</sup>도 국내 해양환경에 대한 비래염분량을 2000년 11월부터 전국 13개소에 걸쳐 측정 중이다.

본 논문에서는 국내 해안실정에 맞는 콘크리트 구조물의 내염대책을 수립하기 위한 기초자료로 삼기 위해 국내 해안별로 약 3개년간 측정된 비래염분량 측정 결과를 보고하기로 한다.

## 2. 비래염분

### 2.1 비래염분

일반적으로 해양환경에서 염화물이 공급되는 요인으로는 해수, 해수방울, 해염입자 등으로 분류할 수 있다. 해수 중에는 통상적으로 NaCl로 환산해 3~4%정도의 염분이 존재하는데, 수용액으로 NaCl의 농도가 3.6%의 경우 강재의 부식속도가 최대로 된다고 알려져 있어, 해수 자체가 철근의 부식을 촉진시키는 작용이 크다고 할 수 있다. 해수방울은 파도가 부서지면서 생기는 직경 약 4mm 이하의 물방울이고, 해염입자는 해수방울이 부서지면서 대기중으로 방출되는 3~18 $\mu$ m 정도의 것으로, 비래염분은 해수방울과

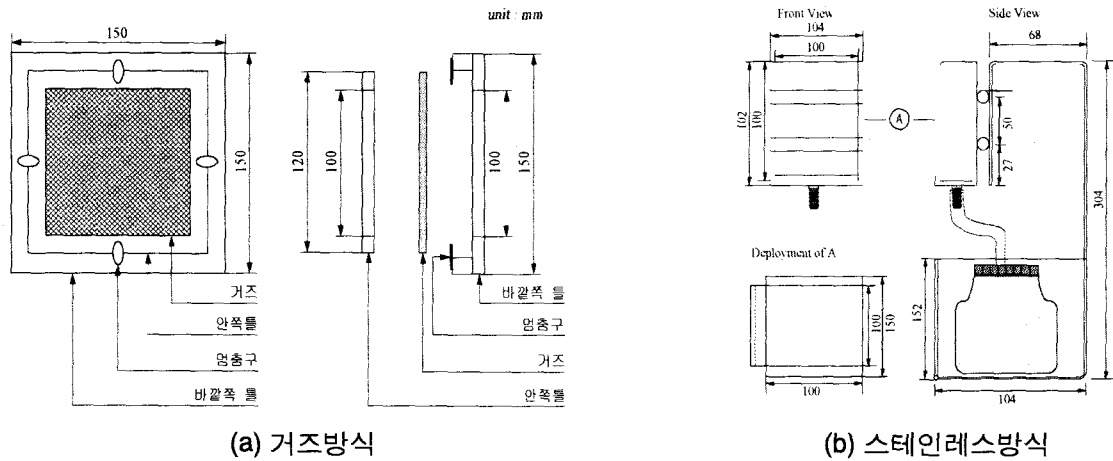


Fig.1 비래염분 포집기 형상

해염입자를 모두 포함한다. 비래염분은 해상 혹은 해안선에서 발생하여 해상 상층기류를 타고 바람에 의해 육지까지 날라와, 통상 해상에서 파도가 치는 비말대와 해안선으로부터 수십미터까지, 태풍이나 강한 계절풍이 있을 경우 수백, 수천미터까지 영향을 미치는 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>.

## 2.2 비래염분량 측정방법

비래염분을 측정하기 위해서는 바다로부터 비래하는 대기중 염분을 포집하여 그 양을 측정하여야 하는데, 비래염분 포집을 위한 방법은 KS와 JIS에 규정되어 있는 거즈방식(KS D 0060 옥외 폭로 시험방법 통칙, 참고 3 해염입자량 측정), 일본토목연구소에서 제안한 스테인레스 방식<sup>1,3)</sup>, ISO규격의 wet candle법(ISO/TC 156), 그 밖에 deposit gauge법, dust jar법 등 많은 방법이 보고되고 있다. 일본 건설성 토목연구소 스테인레스 방식은, KS와 JIS에 규정되어 있는 거즈방식에 의한 방법이 비래염분량이 많은 지역의 경우 거즈 자체에 부착되는 염분량이 작아 과소평가될 우려가 있어 고안된 방법으로, 일본에서는 이 방법에 의해 전국적인 비래염분량을 측정하였다<sup>1-3)</sup>.

해염입자량의 산정방법은 일정기간 동안 해양 환경에 노출시킨 후, 포집된 염분량을 화학분석에 의해 측정하여, 하루에 일정면적의 포집기구에 포집된 NaCl의 양(mg)으로 산정한다. 산정하

일평균 비래염분량을 통상 mdd라고 표시하는데, 이는  $\text{mg NaCl/dm}^2/\text{day}$  ( $1\text{dm}^2=100\text{cm}^2$ )를 나타내는 단위이다.

## 3. 비래염분량 측정

### 3.1 측정방법

본 연구에서는 KS와 JIS에 규정되어 있는 거즈방식과 일본토목연구소의 스테인레스 방식의 염분포집기를 이용해 비래염분량을 측정하였다. Fig. 1에 거즈방식과 스테인레스방식의 염분포집기를 나타내었고, Fig. 2에 교각에 설치한 모습을 나타내었다. 두 방법은 각각  $100 \times 100\text{mm}$ 크기의 거즈와 스테인레스에 일정기간동안 부착된 염분량을 측정하는 방법이다.

### 3.2 비래염분 측정지역

비래염분측정은 국내 해안지역별로 13개 지점에서 측정하였다. 측정지점은 해안에 위치한 우리공사 관리의 교량을 중심으로 선정하였는데, Table 1에 측정지점과 측정기간을 나타내었다. 비래염분 측정은 두 시리즈로 진행되었는데, 국내 해안지역별 데이터를 얻기 위한 것(구분 I)과, 동일 지역에 대하여 해안으로부터의 거리 및 해수면으로부터의 높이의 영향을 파악하기 위한 것(구분II)이었다. 측정기간은 구분 I은 2000년

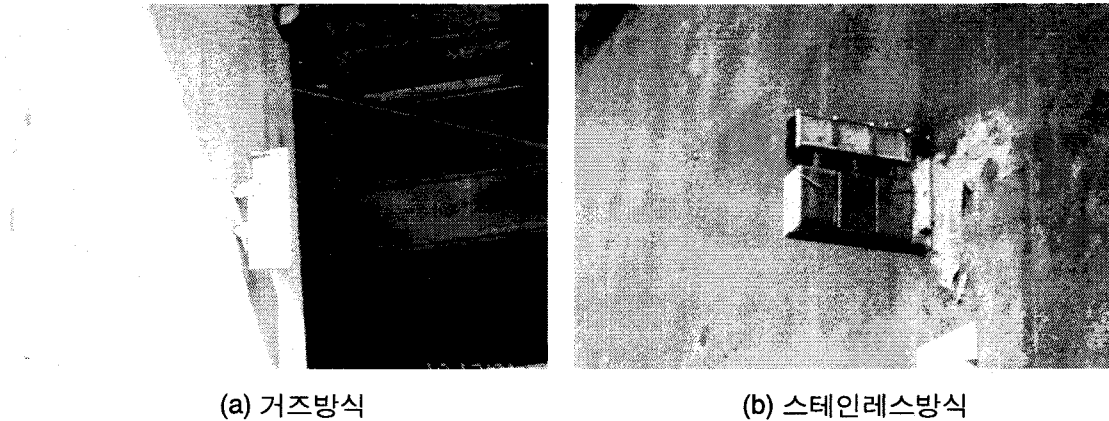


Fig. 2 비래염분 포집기를 설치한 모습

11월 설치하여 약 3년, 구분 II는 2002년 7월에 설치하여 1년간이었다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 측정방식에 따른 차이

Fig. 3에 거즈방식과 스테인레스 방식으로 측

정한 비래염분량 결과를 나타내었다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 거즈방식에 의한 포집량이 스테인레스 방식보다 큰 것을 알 수 있다. 일본 토목연구소 보고에 의하면 비래염분량이 많은 지역의 경우 거즈 자체에 부착되는 염분량이 작아 과소평가될 우려가 있어 스테인레스 방식을 고안하여 제안하였다고 하였으나, 국내 해안에서 측정된 결과에서는 거즈방식에 의한 포집량이

Table 1 비래염분 측정 지점

구분	지점		해안으로부터 거리(m)	해수면으로부터 높이(m)	측정기간
I	서해안	인천 남동구 논현동 소래교 P3	0(해상)	3	2000.11 ~ 현재 (*2000.11 ~ 2002.8)
		경기 평택시 포승면 서해대교 주탑슬래브	0(해상)	90	
	남해안	경남 사천시 곤양면 가화천교 P1 점검로	0(해상)	10	
		전남 광양시 진월면 섬진강교 P3 상부	0(해상)	3	
	동해안	강원 강릉시 옥계면 주수천교 P1 상부*	1500m	-	
II	서해안	서해대교 주탑기초위	0(해상)	4	2002. 7 ~ 현재
		서해대교 P54 부근	0(해안선상)	2	
		서평택영업소 옥상(서해대교의 북쪽)	1000	-	
		서해대교 P23 상부(서해대교의 북쪽)	500	-	
		서해대교 P73 부근(서해대교의 남쪽)	20	-	
		송악영업소 옥상(서해대교의 남쪽)	400	-	
	동해안	강원 강릉시 옥계면 옥계항만 해안	0(해안선상)	2	
		강원 강릉시 옥계면 옥계항만 구내	500	-	

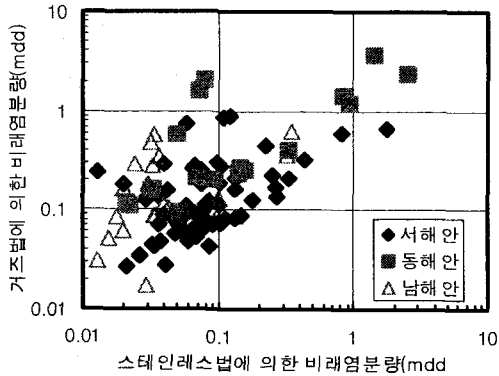


Fig. 3 포집방법에 따른 비래염분량 차이

오히려 큰 것으로 나타난 것으로 보아, 해양환경에 따라 포집방법에 따른 차이가 나타나는 것으로 생각된다. 따라서 국내 해양 환경에서는 거즈 방식에 의한 비래염분포집이 보다 타당한 것으로 생각된다.

4.2 년도별 변화

Fig. 4에 구분 I의 국내 해안별로 3년간 거즈 방식에 의해 측정된 비래염분량 결과를 나타내었다. 대략 0.1~0.6 NaCl·mdd(일평균 비래염분량, mg NaCl/dm<sup>2</sup>/day (1dm<sup>2</sup>=100cm<sup>2</sup>))로 큰 차이는 나지 않았으나, 동해안의 주수천교가 해안선으로부터 1500m 떨어진 위치임을 고려할 때 동해안의 비래염분량이 서, 남해안에 비해 많은 것을 알 수 있다. 일본의 조사결과<sup>23)</sup>와 비교해

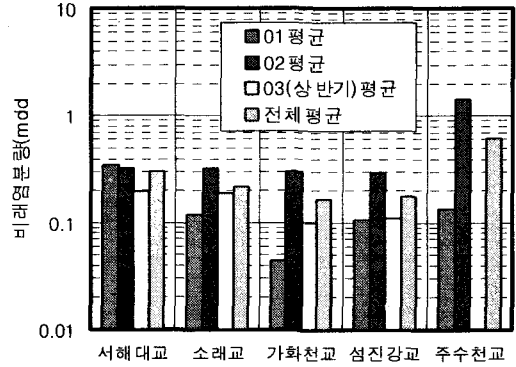


Fig. 4 국내 해안별 비래염분량 측정 결과

보면, 일본에서 염해에 의한 콘크리트 구조물 손상이 심한 곳의 연간 비래염분량이 1.0 mdd 이상, 특히 심한 곳은 10 mdd인 곳으로 나타난 것으로 보아, 국내 해안의 비래염분량은 동해안을 제외하고, 서, 남해안은 그다지 큰 영향을 미치지 못할 것으로 생각된다.

4.3 위치에 따른 영향

Fig. 5와 6은 해안선으로부터 거리와 해수면으로부터 높이에 따른 비래염분량의 영향을 보기 위한 구분 II 시리즈의 측정결과를 나타낸 그림이다. Fig. 5의 해안선으로부터의 거리의 영향을 보면, 대체로 해안으로부터 멀어질수록 비래염분량도 감소하는 결과를 보여주고 있으나, 지형에 따라 다소 차이가 나는 결과를 나타내고

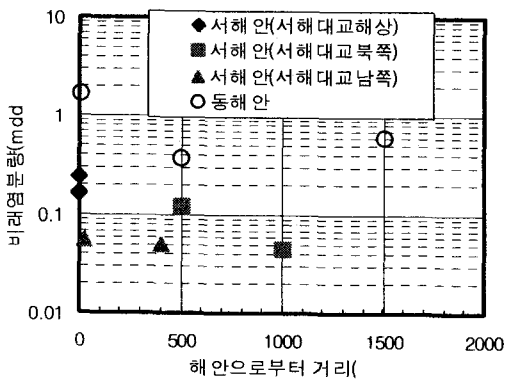


Fig. 5 해안으로부터 거리에 따른 비래염분량 변화

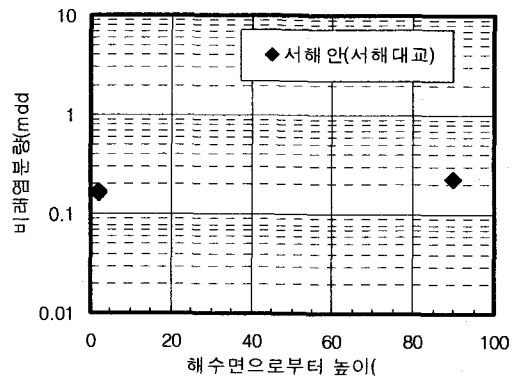
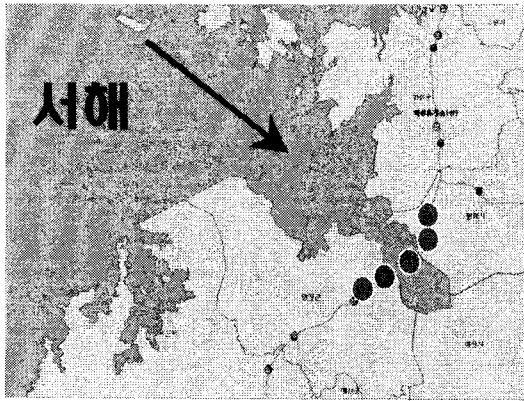
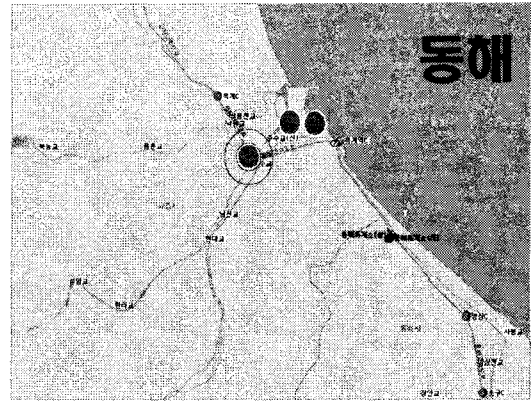


Fig. 6 해수면으로부터 높이에 따른 비래염분량 변화



(a) 서해대교



(b) 동해안 주수천교

Fig. 7 서해대교와 주수천교 부근의 비래염분량 측정지점(●표시)

있다. 즉, 서해대교 주탑을 중심으로 북쪽 해안 쪽과 남쪽 해안쪽이 다소 다른 결과를 보여주고 있는데, Fig. 7에 서해대교 부근의 염분포집 지점에서 보듯이, 북쪽 해안은 바다방향이 북서향으로 강한 북서계절풍의 영향을 많이 받게 되나, 남쪽의 해안은 바다방향이 북동쪽으로 북서계절풍의 영향을 거의 받지 못하기 때문으로 보인다. 따라서 서, 남해안과 같이 해안선이 복잡한 경우 해안선으로부터의 거리 뿐만이 아니라, 바다방향으로 지형적 차폐물이 존재하는지의 여부가 매우 중요하다고 생각된다. 한편, Fig. 6의 서해대교에서 측정된 해수면으로부터의 높이의 영향을 나타낸 결과를 보면, 해수면으로부터의

높이에는 큰 영향이 없는 것으로 보인다. 이는 서해안의 경우 동해안과 달리 해염입자를 발생시키는 파도가 많지 않기 때문으로 보인다.

#### 4.4 바람의 영향

비래염분량과 바람의 영향에 대해서 검토해 보았는데, 각 지점의 일별 풍향 및 풍속 데이터를 수집해 분석해 보았다. Fig. 8에 서해대교에서 2001년 1월~2월에 수집한 바람데이터의 일례를 나타내었다. 서해대교의 경우, 교량관리를 위해 교량에서 직접 기상관측을 행하므로, 이 데이터를 이용하였고, 나머지 지점에 대해서는 선

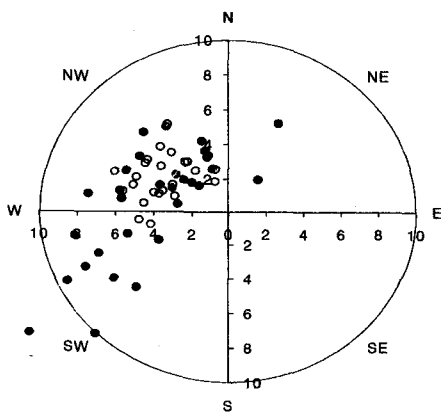


Fig. 8 서해대의 풍속데이터 일례

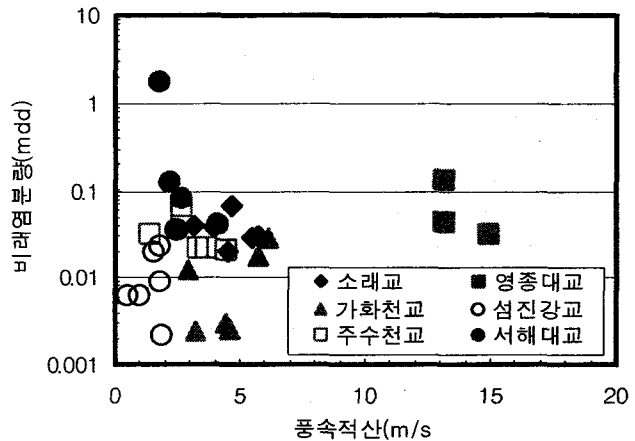


Fig. 9 풍속적산과 비래염분량과의 관계

정교량과 가장 인접한 기상관측소의 기상데이터를 이용하였다. 풍속은 일최대풍속으로, 풍향은 최대풍속시의 풍향으로 하였고, 수집한 바람에 대한 데이터 중에서 바다에서 불어오는 바람만을 추려 분석하였다. 각 지역별 바람의 특성을 분석해 보면, 서해안은 겨울철에는 북서계절풍이 주로, 남해안과 동해안은 여름에 주로 남, 혹은 남동풍이 주로 부는 것으로 나타났다. 이러한 바람 데이터 중에서 비래염분은 바다로부터 바람에 의해 이동해 오므로 바다로부터 불어오는 바람의 영향이 중요하게 작용하기 때문에, 수집한 바람 데이터 중에서 바다로부터 불어오는 바람만을 추려서 정리하여 보았다. 바다로부터 불어오는 바람은 해안선으로부터 45도 이상의 각도에서 불어오는 바람으로 정하였는데, 이는 염분포집기의 정면으로부터  $\pm 45$ 도 이내의 방향과 거의 일치한다.

Fig. 9에 풍속과 비래염분량의 관계를 나타내었다. 여기에서 풍속은 바다에서 부는 바람의 월평균풍속에 측정기간동안 전체바람중의 바다로부터 부는 바람의 빈도%를 곱한 값(풍속적산치)이다. 풍속이 클수록 비래염분량이 많은 경향을 나타내고 있으나, 그 상관성은 그다지 크지 않게 나타났다. 동해안과 같이 비래염분의 발생이 많고, 구조물의 바다방면으로 비래염분의 이동을 방해하는 지형적인 장애물이 없다면 풍속과의 상관성이 좋게 나타날 것으로 생각되나, 각 측정지점의 표고가 모두 다르고, 비래염분량의 차이는 단순히 바람의 영향 뿐만이 아니라, 해염입자의 발생에 미치는 요인, 지형적 요인 등을 모두 종합적으로 판단해야 하므로, 이와 같은 결과가 나왔다고 보여진다.

#### 4.5 고찰

국내 해안의 비래염분 조사 결과, 해안별로 다소 포집염분량의 차이가 나타나, 동해안의 비래염분량이 서, 남해안에 비해 크게 조사되었다. 그러나, 외국 자료와 비교해 보았을 때<sup>1-3)</sup> 국내 해안의 비래염분량은 그다지 큰 편이 아니며, 특히 서해안의 경우에는 해상지역이라 하더라도 해염입자를 발생시키는 파도가 많지 않으므로 비래염분에 의한 우려는 그다지 크지 않다고 생

각된다. 따라서 비래염분 조사 결과에 의한 국내 해안별 염해 환경을 고찰해 보면, 간만이 큰 대신 파도가 작은 서, 남해안은 해상이라 하더라도 비래염분의 영향이 크지 않고, 해안선이 복잡하여 지형적 차폐효과가 있으므로 해수와 접촉이 반복되는 간만대를 위주로 염해에 대한 대책을 세워야 하며, 동해안은 간만이 거의 없고 파도가 높으며 해안선이 단순해 비래염분량이 크게 나타났으므로 해상 뿐만이 아니라, 비래염분의 영향을 받는 해안 인근 지역까지도 그 영향을 고려하여 대책을 세워야 한다고 생각된다.

#### 5. 결 론

- (1) 비래염분 측정방법으로는 거즈방식에 의한 포집량이 스테인레스 방식에 의한 포집량보다 약 2배 정도 크게 나와 국내해안실정에는 거즈방식에 의한 비래염분 포집방법이 타당한 것으로 나타났다.
- (2) 국내 해안별로는 동해안이 서, 남해안에 비해 비래염분량이 많은 것으로 조사되어, 국내 해안별로 염해에 대한 설계, 시공, 유지관리 시 이를 고려하여 대책을 세워야 할 것으로 판단된다.
- (3) 해안으로부터의 거리가 멀어질수록 비래염분량도 감소하는 것으로 나타났으나, 비래염분을 차폐할 수 있는 지형적 특성에 따라 차이가 나므로 이에 대한 영향을 고려할 필요가 있다고 생각된다.

#### < 참 고 문 헌 >

1. 岸谷孝一, 西澤紀昭, “塩害 (I), (II)” 技報堂, 1986.
2. 飛來塩分量全國調査(III), 土木研究所資料, 日本建設省土木研究所 1988.
3. 飛來塩分量全國調査(IV), 土木研究所資料, 日本建設省土木研究所 1993.
4. 정해문, 유환구, 류종현, 안태송, 김수만, 오병환, “해양환경에 위치한 국내 고속도로교량의 비래염분량 측정결과”, 한국콘크리트학회 2002년도 봄학술발표회논문집, Vol.14, No.1, pp.743-748 (2002)