

철근콘크리트 구조물의 내구성 설계를 위한 비래염분 추정방법

Estimation Method of Airborne Salinity for Durability Design of Reinforced Concrete Structure

함 희 정*

Ham, Hee Jung

Abstract

A comparative study of airborne salinity and sea wind was done for a coastal area, Sokcho city, of East Sea in Kangwon province, Korea. In this study, a relationship between the formation of airborne salinity and wind velocity was investigated, and then the airborne salinity was simulated and forecasted by the obtained wind-salinity characteristics. It is founded that most airborne salinity is brought by sea winds with the occurrence of velocity, higher than and equal to 4 m/s, while the occurrence of lower wind velocities (ie., lower than 4m/s) in sea wind and the occurrence of inland wind give diluted effects on the airborne transfer. By using these characteristics and a proposed linear equation model, the salinity in Sokcho city is successfully simulated and forecasted. It is expected that the linear equation model may be useful for durability design of concrete structures under the conditions of chloride attack, induced by the airborne salinity.

키워드 : 비래염분, 풍속, 염해, 철근콘크리트 구조, 내구성 설계

Keywords : *airborne salinity, wind velocity, corrosion induced by chlorides, reinforced concrete structure, durability design*

1. 서론

철근 콘크리트의 염해는 연안 지역에 건설된 시설의 유지 관리와 관계되는 중요한 문제이며, 근간에 들어 도입되는 내구성 설계의 주요 열화현상으로 다루어지고 있다[1]. 염해의 원인이 되는 비래염분의 발생 상황에 대하여는 1990년대 중반부터 국지적인 조사[2]가 행해지고 있으며, 근간의 연구에서는 거시적인 레벨에서의 이해[3]가 이루어지고 있다. 대부분의 이전 연구[2][3][4][5][6][7]는 비래염분량의 지역성 및 해안으로부터의 거리에 따른 비래염분량에 대한 개략적인 내용들을 포함하고 있다. 그러나 비래염분량과 직접적인 관계가 기대되는 풍속과 비래염분량의 상관관계에 대한 연구

는 거의 없는 실정이다. 이러한 비래염 연구의 제약성은 바람에 의하여 발생하는 비래염분이 다양한 환경조건에 기인하기 때문이며, 결과적으로 기상 관측기록을 구조물 설계에 적절히 사용하지 못하게 되어, 구조물이 건설되는 지점의 자연조건을 고려한 설계법의 실현을 불가능하게 하고 있다.

일반적으로 구조물 내구성 설계에 사용될 비래염분을 실측하게 된다면 적어도 일년간 그리고 매년의 변동을 고려할 때는 다년간의 데이터가 필요하게 되어 구조물 설계에 장애가 되고 있다. 만약 비래염 조사를 다년간 실시하지 않고 비래염분을 추측해, 구조물 설계지역 내에서의 비래염분의 분포를 확인할 수 있다면, 구조물 내구성 설계에 기여할 수 있을 것이라 사료된다.

본 연구에서는 비래염분의 발생 및 이동에 크게 영향을 준다고 생각되는 요인 중 풍속과 풍향을

* 강원대학교 건축공학전공 부교수, 공학박사

선택하고 특정 관측점에 대해 장기에 걸친 비래염과 바람의 관찰결과를 분석한 후, 두 인자 사이의 상관성을 고찰하였다. 그리고 이 분석 연구에서 얻어진 결과를 기초로 선형방정식 모델을 수립한 후 비래염분을 재현하고 예측하였다.

2. 비래염분의 조사

본 연구에서 사용된 비래염분의 자료는 국립 건설기술연구원에서 2003년 10월에서 2005년 9월에 측정된 결과[2][7] 중의 일부이다.

2.1 비래염분 관측 지점

본 연구에서는 그림 1에 보이는 것과 같은 전국적인 비래염분 측정 장소 중 속초지역의 관측지점을 사용하였다. 관측지점은 속초지역 바닷가로부터 5m, 40m, 200m, 500m, 1,000m, 2,000m에 위치한다. 비래염의 측정은 그림 2에 보이는 것과 같은 건기연식으로 포집기 앞쪽에 10cm×10cm의 공기 유입구가 설치되어 있고, 공기 유입구는 정동방향을 향하여 있다. 터널식 박스 내부에는 10cm×12cm 포집판을 설치되어 있으며, 10cm×10cm의 공기 유입구 및 토출구에 높이 2cm의 칸막이를 설치하여 어느 정도의 물을 저수할 수 있도록 설계되었다. 이것은 현장에서 비래염을 포집할 경우 발생할 수 있는 비말해수, 빗물 등의 영향을 최소화하기 위함이다. 또한 거즈식 포집판을 사용하여 포집판 배면으로 통풍을 시킬 수 있는 방식을 채용하면서도 포집판을 2개로 늘려 포집판을 통과한 염분에 대해서도 2차로 포집할 수 있으며, 포집기의 좌우 측면 및 천정, 바닥면까지 거즈를 부착하여 포집기 입구의 10cm×10cm를 통과한 염분을 함유한 공기를 위, 아래, 측면으로 입체적인 포집이 가능하게 하였다.

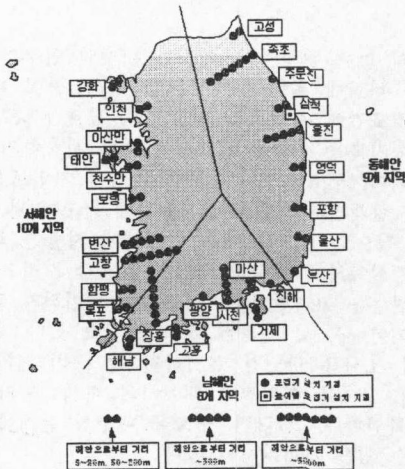


그림 1 비래염 측정 장소[2]

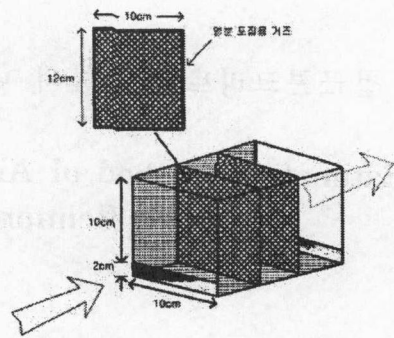


그림 2 건기연식 포집기의 개요도[7]

2.2 비래염분의 측정

그림 3은 2003년 10월부터 2004년 9월까지 속초 지역에서 월별 측정된 비래염분량의 분포이다. 그림에서 보이는 것과 같이, 비래염분량은 11월에 가장 큰 값을 나타내며 나머지 측정기간에는 상대적으로 적은 양의 비래염분 값을 보이고 있다.

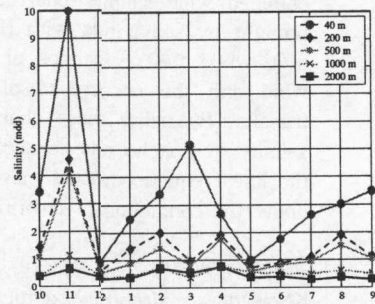


그림 3 비래염분의 월별 분포도

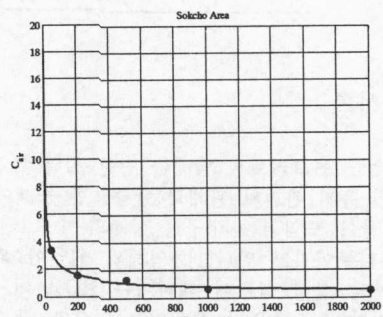


그림 4 비래염분의 연간 평균분포(unit: mdd)

그림 4는 일년간 비래염량의 공간적 분포를 보이고 있다. 이 분포는 멱(Power)함수에 의한 곡선 맞춤(Curve Fitting)을 사용하면 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

식(1)에서 x 는 해안가로부터의 거리이고 y 는 거리 x 에 해당하는 비래염분량이다. 식(1)의 결과를

일본 토목학회의 회귀분석 결과[4][8]와 비교하여 보면, 일본에서 제안하는 먹합수의 승수는 -0.6으로 본 연구에서 해석한 결과(-0.54)와 비교적 유사함을 알 수 있다.

$$y = 26.05x^{-0.54} \quad (1)$$

2.3 풍속의 측정

본 연구에서는 바람에 대한 독자적인 관측을 수행하지 않았고, 그림 5에 보이는 것과 같이 바닷가로부터 1.6km 떨어진 속초기상대에서 측정된 풍속 자료를 사용하였다.

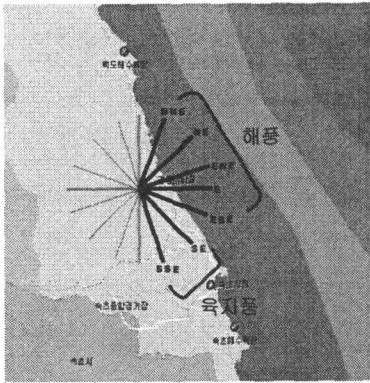


그림 5 속초기상대의 위치 및 16방위

속초기상대의 데이터 기재방법은 국제표준에 따라 풍향은 16방위(그림 5)로 나타내고, 풍속은 m/sec 단위로 하여 소수부 한자리의 수치를 포함하고 있으나, 본 연구에서는 해석의 편의를 위하여 소수부를 반올림하였다. 또한 기상대 데이터는 풍향과 풍속을 1시간의 평균치로서 정리되어 있다. 본 연구에서는, 1시간을 대표하는 풍향과 풍속이 1회 기록된 것에 의해, 1시간을 대표하는 풍속이 「1회 발생했다」라고 가정하였다.

3. 분석

3.1 바람의 특징

본 연구에서는 그림 5에서 굵은 선으로 표시된 7개 풍향의 바람이 속초에서 포집된 비래염분에 주요한 영향을 미친다고 간주하였다. 비래염분의 발생과 이동에는 바다에서 부는 바람의 영향이 지배적이라고 사료하여 해변으로부터 2km 떨어진, 염화이온 포집기를 기준으로 바닷가로부터 직선거리로 5km 이내에 해당하는 풍향(북북동 ~ 동남동)

을 해풍으로 선택하였다. 또한 바닷가로부터 이 포집기까지의 직선거리가 5km 이상 떨어진 풍향에서 발생하는 풍속의 영향성을 고찰하기 위하여 남동과 남남동의 풍향을 포함하였다.

이후의 기술을 간결하게 하기 위해서, 북북동 ~ 동남동에서부터 부는 바람을 해풍이라고 부르고 남동과 남남동의 바람을 육지풍이라 부르도록 한다.

(1) 풍향별 풍속의 발생빈도

그림 6에 보이는 것과 같이, 풍향 중 모든 풍속의 발생빈도는 남동을 제외한 모든 풍향에서 비교적 비슷(218 ~ 398회)하게 분포하고 있으며 남동방향의 바람은 이보다 큰 발생빈도(690회)를 갖는다.

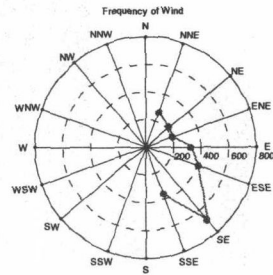


그림 6 풍향별 바람의 발생빈도

(2) 풍향 구간별 풍속 발생빈도의 상관관계

해풍과 육지풍에서 발생된 모든 풍속의 발생횟수를 풍향별로 나누어 인접한 풍향과의 변동 경향을 조사하였다.

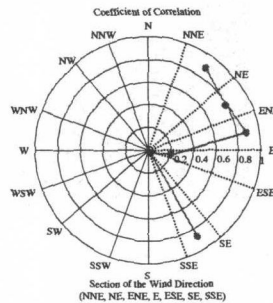


그림 7 풍향 구간별 바람 발생빈도의 상관관계

풍향의 구간을 북북동, 북동 등과 같이 7개의 방위로 나누어 풍향의 범위마다 월별 바람의 발생횟수를 계산하였다. 그 다음 북북동과 북동과 같이 인접한 풍향에 대한 모든 풍속의 발생횟수의 변동 경향을 상관관계분석을 통하여 계산하였다. 이에 대한 결과는 그림 7에 나타나 있다. 그림에 보이는 것과 같이 동남동과 남동 풍향 사이의 바람의 상

관계수는 0에 가깝게 되어 해풍과 육지풍의 발생 빈도는 매우 다른 메커니즘을 가짐을 알 수 있다.

(3) 풍속 구간별 풍속 발생빈도의 상관관계

해풍과 육지풍에서 발생한 바람의 발생 횟수를 풍속별로 나누어 각각의 변동 경향을 조사하였다. 풍속의 구간을 「0 m/s 이상 1 m/s 이하」, 「2 m/s 이상, 3 m/s 이하」 등과 같이 1 m/s 씩 잘게 나누어 풍속의 범위 마다 월별 발생횟수를 계산하였다. 그 다음 「2 m/s 이상, 3 m/s 이하」와 「4 m/s 이상, 5 m/s 이하」와 같이, 서로 다른 풍속의 범위에 대한 바람 발생횟수의 변동 경향에 관한 상관관계를 계산하였다. 이에 대한 결과는 그림 8과 9에 나타나 있다.

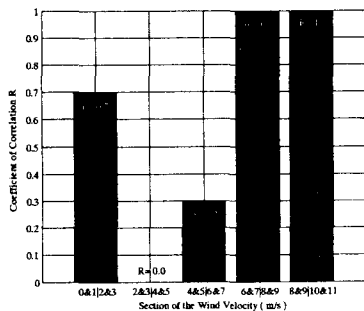


그림 8 풍속구간별 바람 발생빈도의 상관관계 (풍향: NNE, NE, ENE, E, ESE)

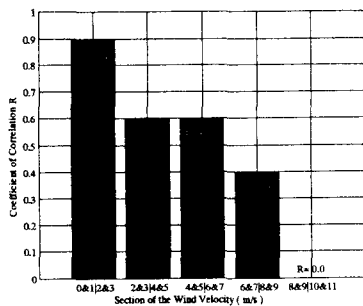


그림 9 풍속구간별 바람 발생빈도의 상관관계 (풍향: SE, SSE)

그림 8로부터, 해풍 중 「2 m/s 이상, 3 m/s 이하」와 「4 m/s 이상, 5 m/s 이하」의 상관계수가 0으로 계산되어 3m/s~4m/s 사이로 풍속 발생횟수의 유사성이 없는 것으로 나타났다. 즉, 이것은 3m/s 이하와 4m/s 이상의 풍속들이 서로 다른 특성을 가지고 있는 것을 의미한다. 육지풍에서는 그림 9에 보이는 것과 같이 해풍에서 관찰된 분절(discontinuity)을 관찰할 수 없음을 알 수 있다. 이를 통하여 해풍과 육지풍의 풍속의 특성이 서로

다른 것을 알 수 있다.

그림 10은 풍속의 범위를 「0m/s 이상, 4m/s 미만」의 저속과 「4m/s 이상, 16m/s 미만」의 고속으로 나누어 바람의 발생빈도를 표현한 것이다. 이 그림으로부터 그림 8에 나타난 것과 같이 풍속이 4m/s 이상인 해풍은 매우 적은 발생빈도(19~36회)를 보임을 알 수 있다.

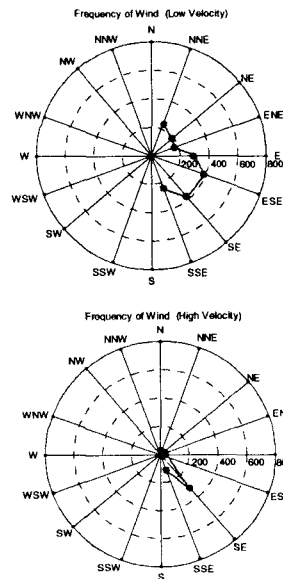


그림 10 풍향별 바람의 발생빈도 (2003년 10월 ~ 2004년 9월)
풍속<4m/s (위), 풍속≥4m/s (아래)

(4)해풍의 풍속별 발생횟수와 계절변동
해풍의 발생횟수를 풍속별로 나누어 각각의 월별 변동 경향을 조사했다.

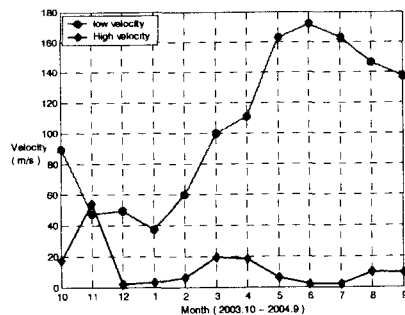


그림 11 저속과 고속 해풍의 월별 빈도

풍속의 단락을 「0m/s 이상, 4m/s 미만」의 저속과 「4m/s 이상, 16m/s 미만」의 고속으로 분리하고 풍속의 범위에 따른 월별 발생횟수를 계산하

였다. 이에 대한 결과는 그림 11과 같다. 그림 11로부터 「0m/s 이상, 4m/s미만」의 월별 발생 횟수는 2003년 10월부터 2004년 1월까지 감소하다 2004년 2월 이후부터 다시 증가하는 추세를 알 수 있다. 「4m/s 이상」의 경우 월별 발생횟수는 2003년 11월에 가장 큰 값을 보이고 2004년 3월과 4월에 비교적 높은 값을 보인다. 이러한 고속 풍속의 월별 발생빈도는 그림 3에 나타난 비래염분량의 월별 분포와 비슷함을 알 수 있으며, 고속 풍속의 발생빈도가 비래염분 형성에 주요한 인자가 됨을 알 수 있다.

「4m/s 이상」의 경우 월별 발생횟수는 2003년 11월에 가장 큰 값을 보이고 2004년 3월과 4월에 비교적 높은 값을 보인다. 이러한 고속 풍속의 월별 발생빈도는 그림 3에 나타난 비래염분량의 월별 분포와 비슷함을 알 수 있으며, 고속 풍속의 발생빈도가 비래염분 형성에 주요한 인자가 됨을 알 수 있다.

3.2 포집염분량과 바람의 상관관계

그림 12는 바람의 발생횟수와 포집염분량의 상관관계이다. 그림 12로부터 풍속의 범위가 「4 m/s 미만」의 저속 풍속의 경우, 모든 풍향에서 풍속의 발생빈도와 비래염분량은 음(-)의 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 반면 「4 m/s 이상」의 고속 풍속의 경우, 해풍과 비래염분량은 양(+)의 상관관계 그리고 육지풍과 비래염분량은 음(-)의 상관관계가 보임을 알 수 있다.

고속의 해풍과 비래염분량과의 높은 양(+)의 상관관계는 해수면(海水面)의 관찰[9]로부터 설명될 수 있다. 이 관찰에 의하면, 풍속이 3.4 m/s 이상의 바람이 발생하고 있을 때 해수면의 모습은, 「군데군데 흰 물결이 나타나는 일 있다 (3.4 m/s 이상, 5.5 m/s 미만)」, 「흰 물결이 꽤 많아진다(5.5 m/s 이상, 8.0 m/s 미만)」, 「물보라를 일으키는 일도 있다(8.0 m/s 이상, 10.8 m/s 미만)」 등과 같이, 비래염분의 발생을 나타내는 것으로 되어 있어, 비래염분의 발생은 풍속 「3.4 m/s 이상」 보다 강한 바람의 범위에서 발생하는 것을 알 수 있다. 즉, 그림 12에 나타난 「4 m/s 이상」의 고속 풍속과 비래염분량의 양(+)의 상관관계는 해수면 관찰을 증명하는 것이라 할 수 있다.

그림 12에 나타난 저속의 해풍 및 모든 풍속구간의 육지풍은 비래염분을 발생시키지는 않지만 공기 중 비래염분을 희석시키는 역할을 하는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 그림 12에서 상관계수 +0.2가 넘는 풍속의 발생빈도를 비래염분 형성에 주된 영향을 미치는 주구조(main structure)로 정의하고, 그

외의 풍속의 발생빈도를 부구조(sub structure)로 정의하였다.

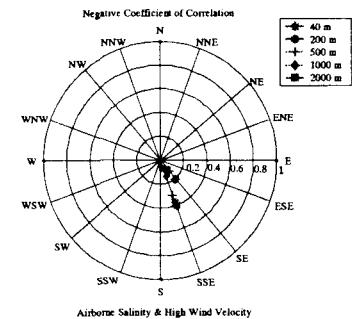
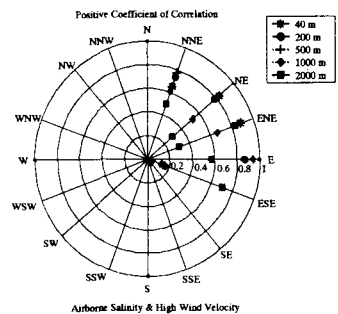
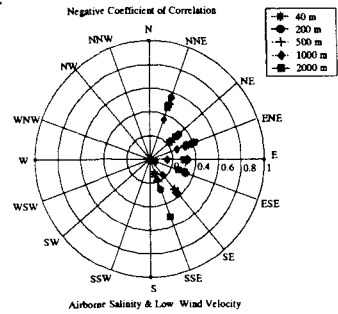


그림 12 풍속의 발생빈도와 비래염의 상관관계
 풍속<4m/s와 비래염의 음의 상관관계(위),
 풍속≥4m/s와 비래염의 양의 상관관계(중간),
 풍속≥4m/s와 비래염의 음의 상관관계(아래)

3.3 포집염분량의 재현

포집 염분량의 기록은, 다양한 강풍의 영향에 의해 발생되고 이동된 염분의 총화이다. 따라서 그림 7~그림 12에 나타난 결과는 예비적인 분석에는 적합하지만, 보다 확고한 풍속과 비래염의 상관관계를 고찰하기에는 부족한 결과라고 하겠다. 이 점을 개선하기 위해서, 본 절에서는 선형방정식을 사용하여 풍속의 발생빈도로부터 포집염분량을 재현하였다

풍속별 발생횟수와 포집 염분량은, 식(2)와 식(3)과 같은 관계로 단순화할 수 있다.

$$S_j = \sum_i S_{ij} = \sum_i (C_i \times n_{ij}) \quad (2)$$

$$n_{ij} = \sum_k (m_{ijk} \times U_k^2) \quad (3)$$

여기서, i : 풍향을 나타내는 첨자(1~16), j : 관측 기간을 나타내는 첨자(1~12), k : 풍속의 정도를 나타내는 첨자(1~16), S_j : 월별 비래염분량, S_{ij} : 풍향에 대한 월별 비래염분량, C_i : 각 풍향 성분의 비래염분에의 기여율, n_{ij} : 바람의 성분, m_{ijk} : 바람의 관측 횟수, U_k : 풍속이다.

비래염분은 풍속의 자승에 비례한다는 웨버(Weber)법칙[10][11]을 사용하면, 바람의 성분 n_{ij} 는 바람의 관측횟수(m_{ijk}) × 풍속의 자승(U^2)으로 정리할 수 있다. 여기서, n_{ij} 를 A , C_i 를 C , S_j 를 B 로 하면, 식(2)는 식(4)로 표현할 수 있다.

$$A \times C = B \quad (4)$$

여기서, C 는 16 방위, 16행 1열의 행렬이다. 일반적으로 16방위의 모든 바람이 비래 염분에 영향을 준다고는 생각할 수 없기 때문에, 영향이 크다고 생각되는 바람의 방위에 대한 C_i 를 사용할 수 있다. 예를 들어 C 를 7행 1열로 하면 식(4)는 12행 7열(A) × 7행 1열(C) = 12행 1열(B)이 되어, 방정식 12개에 대해서, 7개의 미지수가 되어, 해가 무수히 많이 존재할 수 있다. 본 해석에서는 식(5) 표현된 것과 같이 해(解)와의 오차[12]를 최소화하는 방법으로 미지수를 계산하였다.

$$Err = (AC - B)^T(AC - B) \quad (5)$$

식(2)와 7개의 해풍과 육지풍의 발생횟수(그림 6과 그림 10)를 사용해 재현한 월별 포집염분량이 그림 13에 나타나있다.

그림 13에서 포집염분량의 재현은 모든 풍향(북북동~남남동)의 주구조와 부구조를 이용한 재현(Case 1)과 상관관계가 큰 해풍의 주구조만 이용한 재현(Case 2)로 이루어져 있다. 그림으로부터 모든 해풍과 육지풍을 사용한 경우, 재현치는 관측치와 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 해풍의 주구조만 사용한 경우는 포집염분량 형성을 위한 대부분의 에너지를 묘사하고 있음을 알 수 있다.

그림 14는 비래염분량의 일년 평균치의 공간적 분포를 재현한 것이다. 전반적으로 Case 1이 Case2와 비교하여 포집된 염분량과 잘 일치함을 알 수 있다. 표 1은 포집된 염분량과 Case 1,

Case2의 오차율을 보이고 있다. 재현된 염분량은 Case1의 경우 10% 미만의 오차를 갖는 반면, Case 2는 20%~30%의 오차율을 보임을 알 수 있다. 이로부터, 정확한 비래염분량을 추정하기 위해서는 풍속의 주구조와 더불어 부구조의 중요함을 알 수 있다.

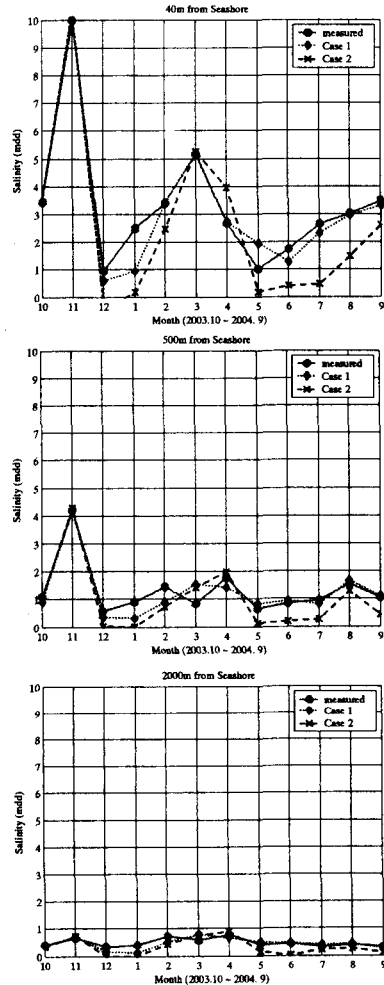


그림 13 월별 비래염량의 재현

표 1 재현값과 실측값의 오차

	40 m	200 m	500 m	1000 m	2000 m
Case 1	4.31 %	7.64 %	5.95 %	8.45 %	8.27 %
Case 2	24.28 %	28.78 %	26.36 %	37.83 %	33.76 %

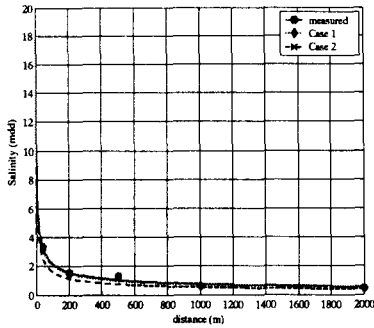


그림 14 비래염분의 연간 평균분포의 재현

3.4 비래염의 예측

3.3절에서 계산한 각 풍향 성분의 비래염분에의 기여율(C_i)과 그 다음 해(2004년 10월~2005년 9월)의 속초지역 기상관측소의 풍속·풍향 데이터를 이용하여 일년간의 매월 비래염분량을 예측하였다. 그림 15는 속초기상대에서 측정된 풍속·풍향 데이터를 이용한 예측치와 2004년 10월부터의 조사에서 얻은 관측치의 비교를 나타낸다.

그림에 나타난 포집염분량의 예측(Case 3)에는 모든 풍향(북북동~남남동)의 주구조와 부구조가 사용되었다. 몇 개 달의 예측치와 관측치의 비교적 큰 오차를 제외하고는 예측치가 관측치와 비교하여 잘 맞음을 알 수 있다.

그림 16은 비래염분량의 일년 평균치의 공간적 분포를 예측한 것이다.

표 2에 계산된 것과 같이 예측된 염분량은 1,000m 이상의 지점을 제외하고는 비교적 적은 오차율을 가짐을 알 수 있다. 1,000m 이상의 지점에서 비래염분의 재현 및 예측값 사이의 오차는, 본 연구에서 사용되지 않은 풍향에서 발생된 풍속의 영향, 비래염분 포집지점과 기상관측소의 불일치 등으로부터 기인한 것이라 사료된다.

표 2 예측값과 실측값의 오차

	40 m	200 m	500 m	1000 m	2000 m
Case 3	4.65 %	5.30 %	5.92 %	29.89 %	14.24 %

본 연립방정식을 사용한 비래염분의 예측으로부터, 속초지역의 경우 2003년~2005년 기간 동안 기여율(C_i)이 비교적 고정된(stationary) 값을 있음을 유추할 수 있으며, 중·장기적 비래염분의 통계치 역시 본 방법을 사용하여 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 남해안과 같이 태풍의 영향을 받을 경우, 연별 풍향별 풍속 발생빈도의 변동성이 크게 되어 연별 기여율(C_i) 역시 크게 변화될

가능성이 있다고 사료된다. 그러므로 추후 연구에서는 다른 해안지역에 대한 본 방법론의 검증 및 일반화가 필요하다고 사료된다.

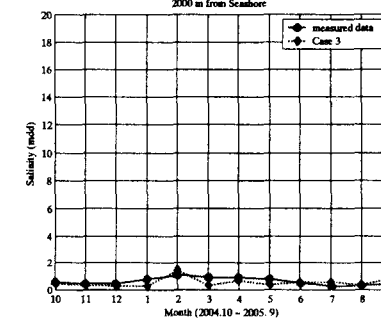
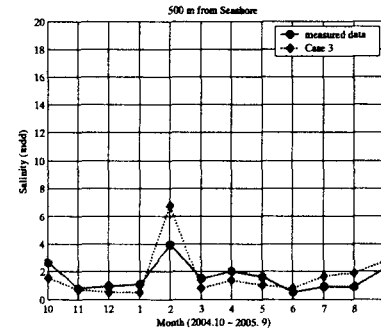
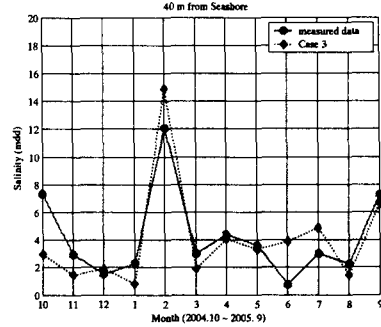


그림 15 월별 비래염량의 예측

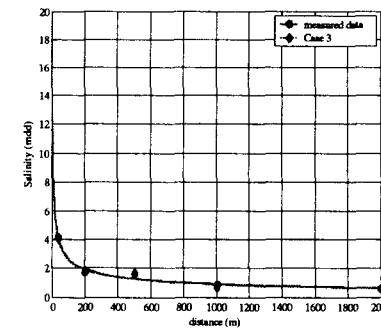


그림 16 비래염분 연간 평균분포의 예측

4. 결론

본 연구에서는 속초지역의 비래염분량과 풍향풍속의 상관관계를 분석하고, 해석된 상관관계를 이용하여 당해 연도의 비래염분을 재현하고 그 다음 연도의 비래염분량을 예측하였다. 이 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 풍속이 4 m/s 이상의 해풍의 발생 횟수와 포집염분량에는 매우 높은 상관성이 있음을 알 수 있었다.
- 2) 대부분의 염분량의 이동은 매우 적은 수의 4m/s 이상의 해풍의 발생횟수에 의하여 발생됨을 알 수 있었다.
- 3) 풍속이 4m/s 이하 해풍의 발생횟수와 모든 풍속 범위에서의 육지풍의 발생횟수는 비래염의 형성과 음(-)의 상관관계를 갖으며, 공기 중 비래염의 양을 희석시키는 역할을 하는 것으로 사료된다.
- 4) 풍속의 발생빈도와 웨버의 법칙을 이용한 선형방정식 모델을 이용하여 비래염분량을 비교적 타당한 오차범위 내에서 재현 및 예측할 수 있었다.

본 연구에서 분석된 풍속과 비래염의 상관관계 및 비래염분량 산정을 위하여 제안된 선형방정식 모델은 염해에 대한 구조물 내구성설계를 위하여 사용될 수 있을 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 박철, 김상헌, 지석원, 최수경, 서치호, “콘크리트 구조물의 내구성설계를 위한 국내 기후 인자 분석에 관한 기초적 연구”, *대한건축학회 학술발표 논문집*, 제 25권, 제1호, pp. 7 ~ 11, 2005.
- [2] 김형래, 송병창, 전국 주요지역의 공기 중 염분량 측정, *대한건축학회 심포지엄*, pp. 213 ~ 222, 1995.
- [3] Lee, J. S. and Moon, H. Y., “Salinity Distribution of Seashore Concrete Structures in Korea”, *Building And Environment*, Vol. 41, No. 10, pp. 1447 ~ 1453, 2006.
- [4] “Standard Specification for Durability of Concrete”, *Japan Society of Civil Engineers*, 2002.
- [5] McGeeR, J.C., “Modelling of Durability

- Performance of Tasmanian Bridges”, In: Melchers RE, Stewart MG, Editors, *ICASP8 Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*, Vol. 1, 297 ~ 306, 1999.
- [6] 안태송, 정해문, 김낙영, 류종현, 김정학, “내구성을 고려한 콘크리트 구조물의 유지관리 방안 수립에 관한 연구”, *한국도로공사 도로교통기술원*, 2002.
- [7] 이종석, 최원성, 김방욱, 안기홍, “비래염분 및 해사사용 콘크리트의 내구특성 장기조사”, *한국건설기술연구원*, 2004.
- [8] Tanaka, T., Kawano, H., Watanabe H., and Nakajo, T., “Study on Required Cover Depth of Concrete Highway Bridges in Coastal Environment”, *The 17th U.S. Japan Bridge Engineering Workshop*, pp. 1 ~ 16, 2001.
- [9] “NHK 最新氣象用語ハンドブック”, *日本放送出版協會*, 1986
- [10] 岩崎英治, 長井正嗣, 大久保雄介, 松岡寛和, “新潟縣内の飛來塩分と風向・風速の關係”, *構造工學論文集*, 日本土木學會, Vol. 52A, pp. 773 ~ 780, 2006.
- [11] 笠原隆祐, “移流沈降領域における飛來塩分量と風速の關係”, *平成14年度 専攻科特別研究論文集*, 長岡工業高等專門學校, 2003.
- [12] Chapra, S. C., “Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineering and Science”, *McGraw-Hill*, 2004.