

콘크리트에서의 해수

- Seawater in the Mixture -



이형준*

서 언

배합수의 요구 조건(품질)에 대한 지식(아직 완벽하지는 않지만)을 기술한 최근의 나의 기고¹⁾에서는 해수를 고려하지 않았다. 이유는 오늘날 서구의 대부분의 기술자들은 해수를 철근 콘크리트에 결코 사용하지 않고, 프리스트레스트 콘크리트에서는 더욱 더 사용하지 않으며, 때로는 다소의 철근이 포함된 무근 콘크리트에서도 아마 사용하지 않는 것이 자명한 일이기 때문이다. 이와 같이 해수를 사용하지 않는 결정적인 이유는 콘크리트 내의 해수로 인한 철근(보강 철근뿐만 아니라 앵커볼트와 같이 삽입한 철근)의 부식 때문이다.

완벽을 기하기 위해서는 믹서에 해수를 직접 넣는 것 이외에 골재가 바다에서 준설되었거나 바닷가의 것으로 씻어지지 않았다면 골재를 통하여 해수가 콘크리트에 들어간다고 첨언하여야 했다. 또한, 깨끗한 골재라 할지라도 보호 장치 없이 바지선으로 운반하는 경우에도 골재는 해수를 포함하게 된다. 해수를 뿌려 골재를 식히

는 경우에도 같은 결과를 초래한다.

해수에 대한 이전의 긍정적인 견해

전 절에 기술된 견해(태도)는 실제로 매우 최근의 것이다. 그리고 우리들의 지식이 어떻게 발전하였고 향상되었는지를 아는 것은 교육적일 것이라고 생각한다. 초기에는 배합수로 해수를 사용하는 것에 대해 조건부 승인이 있었다. 예들 들어, 1970년 Taneja²⁾는 “적절한 배합 설계, 품질 관리 및 숙련도가 있으면, 철근 콘크리트에 해수를 사용하는 것은 타당할 것이다”라고 썼다. 1971년 Building Research Establishment에서는 “건조한 국가에서는 해수 또는 소금기가 상당히 있는 물을 사용하는 것이 때로는 필요가 있다”라는 관대한 접근법이 채택되었다.

놀랍게도, 최근에도 “콘크리트에서의 해수(1988)⁴⁾”, “해양 환경에 노출된 콘크리트에서 배합수로서 해수의 적합성(1995)⁵⁾”과 같은 논문이 발표된 것을 발견하였다. 더욱더 1991년 Ehlert는 해수를 사용하여 만든 실제 철근 콘크리트 구조물의 장기 거동을 평가한 논문을 발표하였다.⁶⁾ 또 다른 극단적인 경우는 1994년

O’Conner는 콘크리트에 해수를 사용하면 사용 상태에서 콘크리트의 모든 열화의 원인이 되는 것은 해수 단독이라는 느낌을 주는 논문을 발표하였다.⁷⁾ 참고문헌 6과 7에 대해서는 뒤에서 자세히 다룰 것이다. 그러나, 다소 상반되는 정보의 연속적인 발간은 배합수의 사용에 관해 우리가 배웠던 것이 얼마나 흥미로운 것인가라는 간단한 회고를 나로 하여금 하게 한다.

해수에서의 염화물

배합에서 다른 담수로부터 해수를 구분하는 것은 염화물(chlorides)의 존재 여부이다. 다른 염(salts)은 덜 중요하다. 명확히 하기 위해, 다소 소금기가 있는 물(brackish water), 즉 직접적인 출처가 바다가 아니라도 상당한 양의 용해된 염, 특히 염화나트륨(sodium chloride)을 포함하고 있는 물도 해수로 구분한다는 것을 설명하지 않으면 안 된다.

염분 함유량의 증가는 일반적으로 다음과 같은 사건의 결과에 기인한다. 첫째, 전에 범람한 지역으로부터 해수의 증발은 불활성 염분 퇴적물(salt deposit)을 남겨 놓는다. 그 후 비 또는 인간의 활동으

* 정희원, 한밭대학교 토목공학과 교수

로 인해 담수의 이동이 발생하고, 이것은 높은 가용성 염화물을 용해시킨다. 결과적으로 소금기가 있는 물의 염분의 함유량은 예측하기 힘들고 시간에 따라 변한다. 소금기가 있는 물(brackish water)은 일반적으로 해수보다는 염분을 덜 함유하고 있지만, 어떤 사막 지역에서는 소금기가 있는 지하수(brackish ground water)는 해수보다 더 많은 염을 함유하고 있다.

서로 다른 수역에 따라 많은 변동이 있기 때문에 해수의 염분 양에 관심을 갖는다. 일반적으로 해수는 3.5%의 염도(salinity)를 갖고 있고, 이것은 78%의 염화나트륨, 15%의 마그네슘나트륨과 마그네슘황산염을 함께 함유하고 있다. 10g의 염화나트륨은 6g의 염화물을 함유하고 있다고 알고 있다. 염도는 북해에서 3.3%, 대서양 및 인도양에서 3.9%, 홍해에서 4.0%이며, 어떤 바다는 훨씬 적은 염도를 가지고 있다. 예를 들면, 발트해는 단지 0.7%의 염도를 갖고 있다. 또 다른 극단적인 경우에는 아라비아만은 4.3%의 염도를 갖고 있다. 육지에 둘러싸여 있어 진정한 의미로 바다가 아닌 사해는 31.5%의 염도를 갖고 있으나, 황산염의 함유량은 매우 적다.

해수의 다른 양상

해수의 사용에 따른 두 가지 다른 양상이 언급되어야 한다. 첫째는, 염화물과 결합된 주요 양이온은 나트륨(sodium)이다. 이것은 물론 잘 반응하는 상태인 알칼리이다. 따라서, 민감한 골재와의 알칼리-골재 반응의 위험성이 증가한다. 두 번째는, 해수는 콘크리트 표면의 지속적인 축축함(dampness)과 백태(efflorescence)를 모두 유발하는 경향이 있다. 따라서, 외관이 중요하거나 회(plaster)로 표면을 마무리한 곳에서는 무근콘크리트라도 해수를 배합수로 사용해서는 안된다.⁸⁾

콘크리트 속의 염화칼슘

해수로 규정하는 것은 염화물의 존재이

기 때문에, 효과적이고 값싼 촉진제로 콘크리트에 의도적으로 도입되는 염화칼슘을 생각하는 것은 유용하다. 이것은 포틀랜드 시멘트에서 규산칼슘(calcium silicates)의 수화 작용을 촉진시켜, 조기 강도가 더 빠르게 발현되도록 유도한다. 수십 년 간 사용한 후 많은 나라의 규정들은 염화물을 기본으로 하는 촉진제의 사용을 금지하고 있으며, 콘크리트에 존재하는 총 염화물 양의 한계값을 도입하고 있다. 이것은 많은 환경 요인에 의해 콘크리트 속의 염 이온이 철근의 부식을 유발하기 때문이다.

콘크리트 자체만을 살펴보면, 경화 촉진제로 염화칼슘을 사용하는 것에 대한 우리의 지식으로 예상할 수 있는 것은, 해수에 포함된 염화물이 초기 재령에서 포틀랜드 시멘트의 수화 반응과 아마도 장기 강도 발현에 영향을 주는 것이 틀림없다. 이와 같은 사항과 콘크리트에서 염화물의 다른 영향에 대해서는 여러 곳에서 논의되었다.⁸⁾ 그러나 최근의 실험실에서의 연구결과는 "경화된 지 1년이 지난 시멘트 풀(pastes, 1종 포틀랜드 시멘트)에서 형성된 상의 양과 질(quality and quantity of phases)은 물의 종류(해수 포함)에 영향을 받지 않는다"고 나타내고 있다.⁹⁾ 이 결과는 고 알루미나 시멘트(high alumina cement)에는 적용되지 않는다. 알루미나 시멘트에서는 클로로알루미네이트의 형성 가능성 때문에 응결 시간과 경화에 악영향을 미친다.

콘크리트 내의 염화물의 한계값

본 소고가 철근 콘크리트내의 염화물의 안전한계값(일반적으로 시멘트 질량에 대한 백분율로 표시)에 관심을 갖는 것은 아니지만, 이 한계값이 믿음만하게 설정되어 있지 않다는 사실을 아는 것은 유용하다. 이것의 부분적인 이유는 전기화학적 cell이 형성되는 한 염 이온의 존재로 인한 철근 부식의 시작과 부식의 진전은 주어진 철근 콘크리트 부재의 엄밀한 조건에 의존한다는 것이다.

현장에서의 조건은 광범위하고 시간에 따라 변하는 데 비해 부식에 관한 실내 실험은 단지 특정한 조건에서의 거동에 대한 정보를 제공하고 있다. 그러므로, 수행된 실험이 있는 한 부식이 일어나는 염화물 농도의 초기값에 대해 많은 평가값이 대부분 존재한다¹⁰⁾라고 Hansson이 쓴 것은 나에게 새로운 것이 아니다. Lukas는 극단적인 경우에 대하여 보고하고 있다. 그는 "15 ~ 20년 된 교량 구조물 혹은 도로 구조물을 조사한 결과의 대부분에 있어 염화물 함유량이 1.8%(시멘트 중량비) 이상인 곳에서만 부식이 발생한 것을 주목할 만하다"라고 쓰고 있다.

앞의 값은 영국이나 유럽 표준에서의 철근 콘크리트에서 염화물 함유량의 한계값이 시멘트 중량비로 0.40%인 것과 대조하여 검토되어야 한다. ACI 318-99 규정에서는 철근 콘크리트가 사용 기간 중에 염화물에 노출되지 않는 경우에 물에 녹는 염화물(water-soluble chlorides)의 최대 함유량을 시멘트의 중량비로 0.30%로 제시하고 있다. 총 염화물에 대한 물에 녹는 염화물의 비, 즉 산에 녹는 염화물(acid-soluble chlorides)의 함유량이 정해지지 않는 않지만, 일반적으로 ACI의 규정이 유럽에 비해 더 엄격함을 알 수 있다. 모든 규정들은 철근 콘크리트에 비해 프리스트레스트 콘크리트에서는 더 엄격한 한계값을 제시하고 있다. ACI 318-99에서는 사용 기간 중 건조되거나 습기로부터 보호된 철근 콘크리트에 대해서는 한계값을 1.00%로 규정하고 있다.

배합수로 해수를 사용했을 때 해수의 염화물 함유량과 규정에 있는 한계값을 어떻게 비교하는가? 예로써 물-시멘트비가 0.5이고, 단위시멘트량이 320kgf/m³인 배합을 생각해보자. 시멘트 1kgf에 대해 염이온의 농도가 보통 2.0%이고, 염분 함유량이 3.5%인 물 0.5kgf를 사용하면, 물 0.5kgf에는 10g의 염화물이 포함되어 있다. 이것은 염화물 함유량이 시멘트 중량비로 1.00%인 것을 나타낸다. 콘크리트에는 골재와 같은 다른 요소로 인해

염화물이 존재한다는 것을 또한 기억하고 있어야 한다. 포틀랜드 시멘트는 시멘트 중량비로 0.01%의 염화물을 포함하고 있다. 이것은 많은 양은 아니지만 단위시멘트당 염화물 총량을 계산할 때 무시해서는 안 된다.

위에서 언급했듯이, 많은 규정들은 콘크리트 속의 염화물 함유량의 한계값을 제시하여 해수의 사용을 배제하고 있다. 독일의 DIN 4030에서는 철근 콘크리트의 배합수로 해수를 사용하는 것을 분명하게 금지하고 있다. 유럽표준규격(European Standard)도 이를 따르고 있다. 철근의 부식을 고려하면 사용 기간 중에 건조가 예상되더라도 철근 콘크리트에는 배합수로 해수를 사용해서는 안 된다.

해수가 열화의 유일한 원인인가?

배합수로 해수를 사용한 철근 콘크리트 구조물의 과도한 부식에 대하여 기술한 O'Connor의 논문⁷⁾에 대하여 앞에서 언급하였다. 그는 "몇 가지의 예외가 있지만 사용상 또는 환경적인 영향은 열화에 대해 미미한 기여도를 갖는다"고 결론을 내렸다. 이 일이 일어났을 때 나는 O'Connor가 언급했던 구조물을 조사하기 위해 많은 시간을 소비하였다. 그리고 해수를 사용하여 만들어졌던 그렇지 않은 간에 콘크리트의 열화에 대한 환경적 영향을 부정하는 것으로 잘못 인도하고 있다고 느꼈다.

나의 현장 조사 결과에 의해, 열화의 정도는 국부적인 노출, 즉 좁은 지역 내의 기후(microclimate)에 많이 의존함을 찾아냈다. 바다와의 근접함뿐만 아니라 지배적인 바람에의 노출, 구조물의 형상과 인접 구조물에 영향을 받는 소용돌이, 해수에 젖는 주기 및 기간, 햇볕에의 노출, 전기화학적 cell의 형성을 유발하는 범위 내에서의 철근 콘크리트 부재의 내부 상태 등에 영향을 받는다. O'Connor는 결론에서 이와 같은 영향을 부정하고 있지만, 구조물의 조사된 상태를 기술할 때에는 "콘크리트 상태에서의 다양한 변동"을 인정하

고 있다. 논문 본문에서, 그는 "미미한 것부터 심한 것까지, 전반적인 것부터 국부적인 것까지 부식의 광범위한 변동(a wide variation of corrosion, from light to severe, and from uniform to localized)"라고 말하고 있다. 이와 같이 본문과 결론이 일치하지 않는 것은 편향된 시각의 결과일 수도 있다.

철근 콘크리트에 배합수로 해수가 사용되지 않아야 한다는 의견에 동의하는 데 반하여, 그것은 콘크리트의 열화에 영향을 미치는 다른 모든 요인들을 무시하는 것으로 잘못 인도하고 있다. 사실은 O'Connor가 언급한 구조물을 조사했을 때, 해수를 사용한 어떤 구조물은 철근의 불량한 상세(특히 건조 수축과 관련하여) 때문에 심각한 손상이 발생한 것을 나는 발견하였다. 광범위한 건조 수축 균열이 발생했을 때에는 외부로부터 염화물의 침투가 철근의 급속한 부식을 유발한다.

반대로, 같은 곳에 담수로 만들어진 다른 구조물 또한 염화물의 침투로 인하여 손상을 받고 있었다. 다시 말해, O'Connor는 염화물 분석표는 염화물의 침투를 분명하게 보여주고 있다고 언급하고 있지만, 분석(Analysis)에서는 이같은 사실을 무시하고 있다.

이 논문에 대해 나의 의견을 말하는 이유는 현장의 상태에 대한 신중한 보고서 작성과 분석의 필요성을 지적하고자 하는 것이다. 이것은 내재된 물리적, 화학적 현상에 대한 우리의 이해를 향상시키는 데 극히 필수적이다.

사용 중인 철근 콘크리트의 열화에 대한 노출 상태의 영향을 설명을 하고 때문에 해수로 만들어진 다른 철근 콘크리트에 대한 조사 결과는 토론할만한 가치가 있다. 이 조사 결과는 1991년 Elhert가 쓴 것으로, 태평양에 위치한 마셜군도에 산호로 만든 골재와 해수를 사용하여 1953년에 건설된 3개의 군사용 구조물에 대한 조사 당시의 상태를 기술하고 있다.⁶⁾ 구조물의 상태는 매우 다양하였다. 건설된 지 28년이 지났지만, 부분적으로 지면 아래에

묻혀 있고, 코코넛 나무로 둘러싸여 있을 뿐만 아니라 3면이 비탈면에 의해 덮여진 구조물은 양호한 상태(excellent conditions)로 발견되었다. 특히, Elhert는 "벽체에 발생한 콘크리트의 실질적인 균열이나 박리(spalling)는 없었고, 콘크리트 지붕에 미미한(minor)한 균열만이 보였다. ... 콘크리트 벽체의 내부 표면에는 열화 현상이 전혀 없으며, 바깥 표면에도 철근이 녹이 슨 현상 또는 콘크리트의 박리 흔적이 보이지 않았다"라고 기술하고 있다.⁶⁾ 반대로, 다른 두 구조물은 심한 손상을 나타내고 있었다. 그리고, Elhert는 "산호로 만든 골재가 철근 콘크리트의 급속한 구조적 열화의 근본적인(primary) 요인이 아닐 수도 있다. 대기에 노출된 정도, 철근의 피복 덮개 및 표면 균열과 같은 요인들이 더 중요하다"라고 결론을 내렸다.⁶⁾

Ehlert가 언급한 여러 가지 요인들은 중요하지만, 배합수로 해수를 사용한 결과들은 과소 평가되지 않아야 한다. 주의 환경에 의존하지만 다른 요인들은 사용 기간 중에 조절되거나 그렇지 않을 수도 있다. 예를 들어, 처음부터 보호 작용을 하던 다른 구조물이 나중에 제거되면 노출 조건은 변한다. 비슷한 상황은 설 하중(snow loading)에서도 발생한다. 인접 구조물이 제거되면 지금까지 보호되던 구조물은 적설에 노출되게 된다. 그러므로 해수의 사용은 피해야 한다고 확고하게 생각한다. 이것이 내가 전하고자 하는 말이다.

해수를 포함하고 있는 철근 콘크리트로 만들어진 또 다른 구조물(1990년에 방문함)을 개인적으로 알고 있지만, 나는 위에서 말한 것과 같이 말하고자 한다. 이 구조물은 네덜란드의 St. Eustatius 섬의 방파제이다. 배의 충돌과 나중에 두 번의 허리케인에 의해 여러 군데에 콘크리트 피복 덮개가 손상을 입기 전까지는 구조물은 양호한 상태였다. 손상을 받은 부분은 보수가 이루어지지 않았고, 상당한 부분에 심각한 철근의 부식이 잇따라 일어났으며, 다른 부분은 양호한 상태를 유지하고 있었



그림 1(a). Overall view of jetty at St. Eustatius



그림 1(b). Initial mechanical damage ; corrosion followed at jetty at St. Eustatius

다(〈그림 1〉).

여기서 나는 일반적인 의견(general comment)을 제시하고자 한다. 하나의 조사 결과를 기초로 일반화된 결론을 내릴 때 (특히 그것의 목적이 사실을 입증하는 것일 때)는 신중하게 하는 것이 중요하다. 내 의견은 편견을 암시하고 그것은 고용주를 지지하기 위해 의도된 요구(비록 그것이 가끔 있을 지라도)라고 할 수 없고, 단지 연구자의 믿음과 예상에 따른 열성적인 분석일지도 모른다. 이것은 위대한 철학자 Bertrand Russell이 말한 “주관적인 확실성을 위한 기만적인 지지(delusive support of subjective certainty)”라는 문구를 다시 생각하게 한다.

콘크리트 내의 해수에 대한 최근의 관심

해수의 사용에 관한 논쟁의 끝은 간단하지 않은가? 나는 간단하지 않다고 생각한다. 그러나 최근의 발간물들은 다소 한정된 의견의 제공을 계속하고 있다. 따라서, 해수의 사용에 대해 문을 조금 열어 놓고 있다. 예로, 남아프리카에서 1992년에 발표된 논문¹²⁾은 “배합수로 해수를 사용할 때는 철근의 부식, 알카리-골재 반응 및 황산염 침투의 위험성 증가 관점에서 다소의 주의(some caution)가 필요하다”라고 결론을 내리고 있다. “다소의 주의”를 요구하는 것은 매우 빈약하다.

Pierce는 유해한 영향이 없이 철근 콘크

리트에 해수를 사용한 여러 가지 예를 제시하면서, “극심한 주의(extreme caution)”를 권고하고 있다.¹³⁾ 이것은 어느 정도 더 명확한 것이다. 포틀랜드시멘트협회(PCA)에서 콘크리트의 배합 설계와 관리에 대해 1995년 발간한 보고서¹⁴⁾에는 “해수는 철근 콘크리트를 만드는 데 사용하는 것은 적합하지 않다. ... 특히, 온화하고 습기가 많은 환경에서는”라고 더욱 더 명확하게 쓰고 있다. Dobrowolski는 1998년 출판된 그의 콘크리트 시공책¹⁵⁾에서 “해수는 콘크리트의 강도를 단지 약간 감소시키지만 철근에 대한 부식 영향 때문에 철근 콘크리트에서는 추천하지 않는다. 그렇기는 하지만, 담수의 부족 때문에 일부 지역에 가끔 사용되고 있다.”라고 말하고 있다. 이것은 악마(부식)와 심해(담수) 사이의 절충안이다.

위의 관점들은 해수의 사용에 대한 우호적인 태도로서 체계적인 지식(science)을 누그러뜨린다. 그와 같은 우호적인 태도는 나중에 문제를 유발한다. 재난은 아라비아안 걸프만 및 다른 사막 지역과 같이 담수가 부족한 지역에서는 명확히 있다. 노출 상태는 가혹하고 매우 심해져서 해수의 사용에 대한 관대한 태도는 적절치 않은 방법으로 균형을 무너지게 할 뿐이다.

해수를 사용한 양생

습윤양생의 목적은 콘크리트에 물이 스며들게 하는 것이다. 만약 그 물이 해수여

서 염화물을 함유하고 있다면, 염화물은 콘크리트의 내부로, 그리고 철근을 향해 이동될 것이다. 콘크리트의 양생이 시작될 때 부분적으로 건조하다면 해수의 염화물은 빠른 속도로 이동하거나 흡수될 것이다. 만약, 콘크리트의 양생이 시작되기 전에 콘크리트가 현저히 건조되지 않았다면, 염화물은 확산에 의해 모세관 구멍에 있는 원래 염화물이 없는 물(chloride-free water)로 이동할 것이다.

이것은 초기 재령에서는 해수를 사용하여 콘크리트를 양생하지 말아야 한다는 결과가 된다. 담수를 사용하던가 이것이 비경제적이면 피막 양생(membrane curing)을 사용해야 한다. 해수에 침수시켜 사용할 목적으로 콘크리트가 만들어졌다 할지라도 해수 속에서의 양생은 허용되지 않아야 된다. 콘크리트가 많이 양생(성숙)되었을 때 물 속에 가라앉힌다면, 더 많이 진행된 수화 작용에 의해 더 밀집한 조직을 가질 것이므로 해수의 유입은 한정적일 것이다.

To paraphrase from the poem “The Rime of the Ancient Mariner” by Samuel Taylor Coleridge :
“Water, water, every where.

Nor any drop to cure!”

제안 사항

앞선 토의들은 해수 또는 염분을 포함

한 물은 철근 콘크리트의 배합수로 사용되지 않아야 한다고 제안하도록 강하게 유도한다. “불가피한 경우를 제외하고 해수를 사용하지 말아라(do not use seawater unless this is unavoidable)”와 같은 회피성 문구들은 완전히 위험하지는 않지만 도움이 되지 않고, 설계는 ACI, 영국, 또는 독일과 같은 규정을 따르라고 주장할 수 없다. 물론 불가피한 것이 있으면, 그렇게 할 수도 있다. 그러나 이것은 우리가 알고 있는 콘크리트가 아니고 로빈슨크루소의 콘크리트일 것이다. 만약 목이 말라 죽어가고 있다면, 소금기가 있는 우물에서 물을 마시지 음료수를 요구하지 않는다.

그러므로 나의 의견으로는 배합시 해수를 사용하지 말아야 하고, 효과적인 실행의 표준과 규정에 따라 건축된 구조물과 같은 철근콘크리트 결과물을 요구해야 한다. 단지 두 가지의 예외가 있을 수 있다. 첫 번째는 해수를 사용하여 만들어진 콘크리트가 항상 건조한 상태로 유지된다는 사실을 확실히 알고 있을 때이다. 여기서 “항상”이라는 의미는 사용시의 변화를 배제한다. 해수를 사용한 경우라도, 물에 녹는 염화물이 시멘트 중량비로 1.00%인 ACI 318-99의 제한값은 만족되어야 한다. 두 번째 예외는 구조물이 영구적으로 해수나 유용성 산소를 거의 포함하지 않는 물에 침수될 때이다. 이것은 난류가 심한 하천 바닥인 경우에는 적용되지 않는다. 산소의 부재는 중요하지만 가끔 잊어버리고 있다 (난류가 심하면 산소의 공급이 이루어지기 때문이다 - 譯者 注).

나의 제안은 담수가 부족한 세계의 어떤 불모지에서라도 해수가 배합수로서 또는 콘크리트의 양생을 위해 사용되지 않아야 한다는 명료한 규정(규칙)을 갖고 있어

야 한다는 것이다. 우리는 “낙관적인” 출판물(해수의 사용을 허용하는 논문이나 기술기사의 결론 - 譯者 注)에 현혹되지 않아야 한다. 이 규정은 철근의 배근이나 삽입이 없는 무근콘크리트에는 적용되지 않을 수 있다. 그와 같은 접근 방법을 갖는다면, 장래에 발생할 문제들을 피할 수 있을 것이다. □

참고문헌

1. Neville, A.M., "Water-Cinderella Ingredient of Concrete," *Concrete International*, V.22, No.9, Sept. 2000, pp66-71.
2. Taneja, C.A., "Seawater for Making Concrete," *Cement and Concrete*, 1970, New Delhi.
3. Harrison, W.H., "Concrete and Soluble Salts in Arid Climates," *Oversea Building Note*, No.139, 1971, Building Research Establishment.
4. Anonymous, "Seawater for Concrete," *Indian Concrete Journal*, V.64, No.10, 1988, pp.505-506.
5. Kaushik, S.K., and Islam, S., "Suitability of Seawater for Mixing Structural Concrete Exposed to a Marine Environment," *Cement and Concrete Composites*, V.17, 1995, pp.177-185.
6. Ehlert, R.A., "Coral Concrete at Bikini Atoll," *Concrete International*, V.13, No. 1, Jan. 1991, pp.19-24.
7. O'Connor, J.P., "Middle Eastern Concrete Deterioration: Unusual Case History," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, V.8, No.3, 1994, pp.201-212.
8. Neville, A.M., *Properties of Concrete*,

Fourth Edition, Longman, Harlow, and John Wiley, New York, 1995. 844p.

9. Ghorab, H.Y., Hilal, M.S, and Kishar, E.A., "Effect of Mixing and Curing Waters on the Behavior of Cement Pastes and Concrete," *Cement and Concrete Research*, V.19, No.6, 1989, pp.868-878.
10. Hansson, C.M., "The Effect of Cement Type on the Chloride Induced Corrosion of Steel in Concrete," Tenth Scandinavian Corrosion Congress, 1986, Stockholm.
11. Lukas, D.W., "Relationship Between Chloride Content in Concrete and Corrosion in Untensioned Reinforcement on Austrian Bridges and Concrete Road Surfacing," *Bertonwerk & Fertigteile-Technik*, No.11, 1985, pp.730-734.
12. Sephton, S.S., and Ballim, Y., "A Preliminary Investigation into the Effects of Using Seawater as Mixing Water on the Properties of Concrete," *Concrete Beton*, South Africa, Aug., 1992, pp.14-22.
13. Pierce, J.S., "Mixing and Curing Water for Concrete," *ASTM STP 169C*, 1984, pp.473-477.
14. Kosmatka, S.H., and Panarese, W.C., "Mixing Water for Concrete," *Design and Control of Concrete Mixtures*, 6th Canadian Edition, Portland Cement Association, pp.32-35.
15. Dobrowolski, J.A., *Concrete Construction Handbook*, Forth Edition, McGraw Hill, 1998, section 12.2.2.

본 번역기사는 *Concrete International*(Jan. 2001)에 기고된 내용으로서 원저자(Adam Neville)의 개인 의견(In My Judgement)을 중심으로 이루어져 있다. 따라서 여기서는 원저자가 표현한 문구를 될 수 있으면 그대로 표현하고자 하였다. 한편, ACI의 편집부에서는 “본 특별기고는 독자의 관심을 위해 발표하였고, 여기에 제시된 의견은 ACI의 의견은 반드시 아니다”라고 밝히고 있다. 이와 같은 사항을 참고로 본고를 읽으면 이해하는 데 도움이 될 것으로 판단된다.