

균등 표면 염화물량을 고려한 시간 의존적 내구적 파괴확률 해석기법

이학수¹, 권성준^{1*}

Analysis Technique on Time-dependent PDF (Probability of Durability Failure) Considering Equivalent Surface Chloride Content

Hack-Soo Lee¹, Seung-Jun Kwon^{1*}

Abstract: Recently durability design based on deterministic or probabilistic method has been attempted since service life evaluation in RC(Reinforced Concrete) structure exposed to chloride attack is important. The deterministic durability design contains a reasonable method with time effect on surface chloride content and diffusion coefficient, however the probabilistic design procedure has no consideration of time effect on both. In the paper, a technique on PDF(Probability of Durability Failure) evaluation is proposed considering time effect on diffusion and surface chloride content through equivalent surface chloride content which has same induced chloride content within a given period and cover depth. With varying period to built-up from 10 to 30 years and maximum surface chloride content from 5.0 kg/m³ to 10.0 kg/m³, the changing PDF and the related service life are derived. The proposed method can be reasonably applied to actual durability design with preventing conservative design parameters and considering the same analysis conditions of the deterministic method.

Keywords: Chloride attack, probabilistic method, Equivalent surface chloride content, Time-dependent diffusion coefficient, PDF(probability of durability failure)

1. 서 론

염해에 노출된 콘크리트 구조물은 시간의 증가에 따라 부식이 발생하게 되며, 이러한 부식은 내구적인 문제에서 구조적인 문제로 진전되는 것이 일반적이다(Broomfield, 1997; CEB, 1997). 기존의 안전성 위주의 사용 수명개념에서 내구수명의 개념이 1990년대부터 정립되면서, 목표내구수명의 확보와 이를 위한 해석에 대한 연구는 꾸준히 진행되고 있다. 최근 들어 많은 내구성에 대한 연구가 시방서 또는 구조설계기준에 반영되고 있다(KCI, 2012; JSCE, 2007). 기존의 내구성 설계는 최대 물-결합재비, 최소 콘크리트 피복두께 등으로 사양설계로 고려되어 왔다. 그러나 혼화재료의 적용과 열화환경의 정량적인 고려를 통하여 점차 정량적인 설계기법으로 발전하고 있다. 정량적인 내구성 설계방법은 Fick's 2nd Law에 근거한 방법이 주로 사용되고 있는데, 이런 방법은 염화물량의 이동을 확산계수 하나의 변수를 이용하여 염화물 유입을

조절하는데, 시간의존성 확산계수 및 표면염화물량을 고려하는 합리적인 설계로 변화하고 있는 추세이다.

확률론적인 설계방법은 최근 들어 실제 구조물에 적용되고 있으나(Duracrete, 2000; Kwon et al., 2009; RILEM, 1994), Fick's 2nd Law에 의한 절정론적인 방법에 비하여 매우 안정적인 설계기법으로 유도한다. 이는 설계인자가 하나의 상수로 가정되지 않고 변동성을 가지는 확률변수로 가정되며, 목표 내구수명동안 유지해야 하는 목표 내구성 파괴확률이 보통 7.0~10.0% 수준으로 매우 낮기 때문이다(Ferreira et al., 2004). 일반적인 확률론적인 설계에서는 해석의 편이성을 위하여 주로 Fick's 2nd Law를 이용하고 있으며, 지배방정식을 통하여 유입된 염화물량이 목표내구수명동안 부식을 야기하는 임계 염화물량보다 클 확률을 제어하는 기법이다. 확률론적 해석에서 설계변수의 선정은 매우 중요한데, 설계변수의 시간의존성은 고려되고 있지 못하다. 기존의 해석에서는 확산계수의 시간의존성이 고려되기는 하였으나, 해수와의 노출 시간의 증가에 따른 표면염화물의 증가를 고려한 확률론적 해석 연구는 없는 상태이다. 실제로 Fick's 2nd Law는 정상상태를 가정하여 일정한 확산계수와 표면염화물량을 가정하지만, Life365와 같은 해석조건에서는 표면염화물량의 증가를 Built-up 함수로 고려하여 시간에 따라 증가하도록 유도하고

¹정회원, 한남대학교 건설시스템공학과 교수

²정회원, 한남대학교 건설시스템공학과 부교수, 교신저자

*Corresponding author: jjuni98@hannam.ac.kr

Department of Civil Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 4월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

있으며, 시간의존성 확산계수를 동시에 고려하므로 합리적인 설계가 되도록 하고 있다(Thomas and Bentz, 2002). 표면의 염화물량 증가는 일반적으로 10~15년 동안 꾸준히 증가하며, 30년 이후부터는 일정하게 포화되는 것으로 보고되고 있다(JSCE 2002). 특히 비교적 짧은 기간에 노출되어 있는 구조물의 경우, 초기부터 일반적인 해수 수준의 표면염화물량을 적용할 경우, 내구적 파괴확률은 초기에 크게 증가하며 이로 인해 내구수명은 단축되게 된다.

본 연구에서는 표면염화물량의 변화를 시간의 함수로 구성하고 염화물 침투 해석을 수행하려는 시간까지 철근위치에서 유입된 염화물량을 고려한 이후, 균등 표면염화물량(Equivalent diffusion coefficient)을 상수로 도출하였다. 이후 시간영향을 고려한 확산계수를 고려하여 내구적 파괴확률(PDF: Probability of Durability Failure)의 변화를 분석하도록 한다. 또한 기존의 확산계수 및 표면염화물량을 상수로 가정했을 경우, 과도하게 산정되는 PDF와 비교하였으며, 각각의 방법으로 도출되는 내구수명을 비교하도록 한다.

2. 시간의존성 확산계수 및 표면염화물량 모델링

2.1 MSC(Monte Carlo Simulation)을 이용한 확률론적 방법

확률론적인 방법은 주로 MCS(Monte Carlo Simulation)을 이용하여 확률변수들에 대한 변동성을 고려하며, 주된 설계 변수로는 기본확산계수, 시간의존성지수, 피복두께, 표면염화물량 등이 고려된다. 확률론적인 설계방법의 개요도는 Fig. 1에 나타내었는데, 열화외력(S_t)은 시간에 따라 증가하는 유입된 염화물량이며, 저항내력(R_t)은 부식이 발생하는 임계염화물량으로 가정한다(DuraCrete, 2000). 식 (1)에서는 확률론적 설계의 지배방정식을 나타내고 있다.

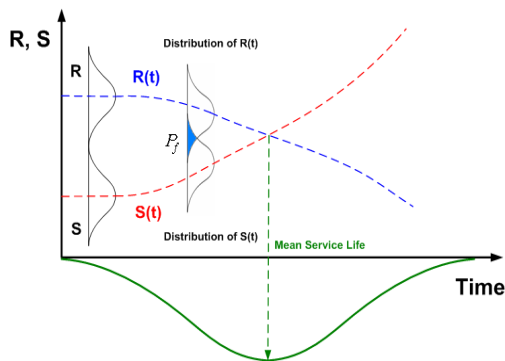


Fig. 1 Probabilistic method for durability design

$$P\left\{C_{cr}(\mu, \sigma) < C_s(\mu, \sigma) \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x(\mu, \sigma)}{D(\mu, \sigma)t}\right)\right]\right\} < P_{\max} \quad (1)$$

여기서, $C_{cr}(\mu, \sigma)$ 는 임계부식량의 확률변수이며, P_{\max} 는 목표내구수명동안 유지되어야 하는 내구성확률의 최대치이다. C_s 는 표면염화물량을, x 는 피복두께를, D 는 염화물 확산계수를 나타낸다.

2.2 시간 의존성 확산계수

전술한 식 (1)에서와 같은 염화물 거동의 확률변수에서는 확산계수, 피복두께, 표면염화물량에 대한 확률변동성이 고려된다. MSC에서 시간의존성을 고려하기는 매우 어려운 문제이나 일정한 정상상태 조건에서는 매개변수 $I(t)$ 를 이용하여 식 (2)과 같이 일정시간에서의 균등한 확산계수를 모델링할 수 있다(Poulsen, 1993).

$$D(t) = \int_0^t D(\tau)d(\tau) \quad (2)$$

식 (3)을 고려하면 식 (1)에서의 \bar{D} 는 m 을 상수로 가지는 $D(m)$ 으로 나타낼 수가 있으며 이는 식 (3a, b)와 같다(Poulsen, 1993).

$$D(m) = \frac{D_0}{1-m} \left(\frac{t_0}{t}\right), (t < t_c) \quad (3a)$$

$$D(m) = \frac{D_0}{(1-m)} \left(\frac{t_{28}}{t_c}\right)^m \left[1 - m + m \frac{t_c}{t}\right], (t \geq t_c) \quad (3b)$$

여기서, $D(m)$ 은 시간 t (sec)에서의 확산계수(m^2/sec), D_0 는 t_0 에서의 확산계수, t_c 는 확산계수가 더 이상 감소하지 않는 시간을 나타내며, 일반적으로 t_c 는 30년으로 가정하고 있다.

2.3 시간의존성 Built-up

MSC의 절차상 고정된 시간에 대한 표면염화물과 설계변수의 확률변동성이 고려되기 때문에 표면염화물량의 시간 의존성을 구현하기는 매우 어려운 문제이다. 이를 위해 원하는 기간에 따라 표면염화물량을 시간의 함수로 구현하고 정해진 기간 동안 고정된 철근위치에서 유입된 염화물량을 평가한다. 이후 초기부터 일정한 표면염화물량을 가정한 뒤, 같은 해석을 반복하여 수행하면, 그기간 동안 균등 표면염화물량을 하나의 상수로 도출할 수 있다. 본 해석을 위해 이를 위해 유한차분법을 기본으로 하는 Life365 프로그램을 사용하여 Built-up 변화를 고려한 염화물 해석을 수행하였다. 균등 표면염화물량을 도출

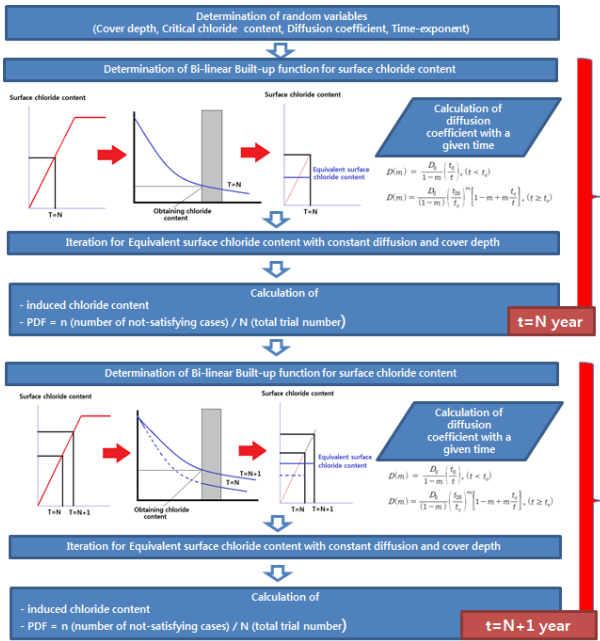


Fig. 2 Flowchart for calculation of durability failure probability with equivalent surface chloride content

하기 위한 과정을 포함한 해석기법은 Fig. 2에 나타내었다.

3. 균등 표면염화물량 변화에 따른 PDF 변화

3.1 기본 해석조건

기본 해석조건은 Table 1에 나타내었는데, 표면염화물량을 5 kg/m^3 , 10.0 kg/m^3 , 15.0 kg/m^3 으로 가정하였으며, 최대 염화물량에 이르는 기간은 10년, 20년, 30년으로 분류하여 해석을

Table 1 Simulation conditions with variables

Time constant and time-dependent diffusion coefficient		
Diffusion coefficient at reference time(28days)	$2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$	Normal distribution COV 0.266
Cover depth	100 mm	Normal distribution COV 0.128
Surface chloride content	5.0 kg/m^3	Normal distribution COV 0.338
	10.0 kg/m^3 15.0 kg/m^3	
Built-up period	10,20,30 years	
Critical chloride content	1.2 kg/m^3	Log Normal distribution COV 0.200
Time exponent	0.2	-

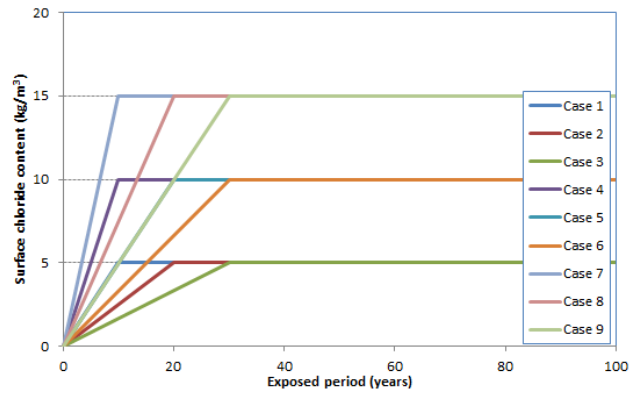


Fig. 3 Simulation cases with time-dependent surface chloride content

수행하였다. Table 1의 설계변수 확률분포 및 표준편차는 기존의 연구결과를 이용하여 분포를 구성하였다(Kwon et al., 2009; Song et al., 2009).

본 절에서는 먼저 시간의존성 확산계수를 고려하지 않고 기본확산계수를 이용하여 PDF 변화를 분석하였으며, 시간의존성 확산계수 및 균등 표면염화물량의 고려는 4장에서 다루고자 한다. 해석을 위한 표면염화물량의 변화는 Bi-linear로 가정하였으며, Fig. 3에 나타내었다.

3.2 Built-up 기간에 따른 염화물 거동 비교

균등 표면염화물량이 도출되기 위해서는 시간이 가정되어야 유입되는 염화물량을 결정할 수 있다. Table 1에 제시된 기본 해석조건에 따른 Built-up 시간과 최대 표면염화물량을 고려하여 염화물 거동을 분석하였다. 해석 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 해석을 수행할 경우, 노출기간이 먼저 결정되어야 하는데, 본 연구에서는 100년의 노출기간을 가정하고 해석을 수행하였다.

Built-up 기간이 증가할수록 균등 표면염화물량이 감소하게 되는데, 이는 최대 표면염화물량에 이르는 시간이 100년에 근접하게 되어 그 기간 동안 염화물 유입이 손실되기 때문이

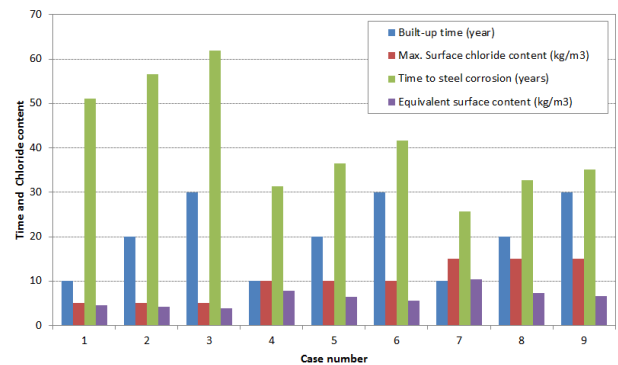


Fig. 4 Built-up period and equivalent surface chloride content

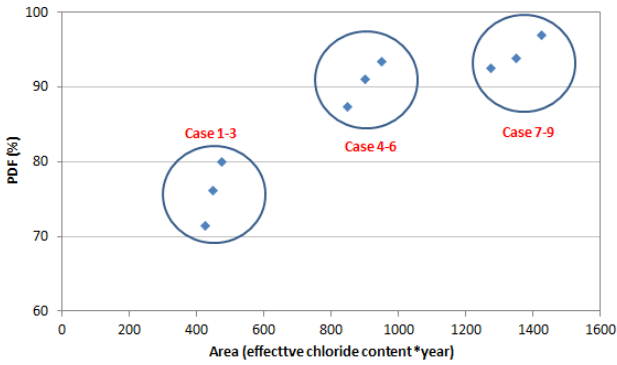


Fig. 5 Effective area of chlorides and PDF

다. 되면, 반대로 Built-up 기간이 감소할수록 100년 동안 일정하게 유입되는 표면염화물량은 최대 염화물량에 수렴하게 된다. Built-up 기간이 짧으면 일정한 피복두께 및 기본 확산계수 조건에서 임계염화물량에 이르는 시간이 단축되어 내구수명 역시 감소된다. 이러한 경향은 Fig. 4에 잘 반영되어 있다.

Fig. 4의 결과인 균등 표면염화물량의 변화를 고려한 PDF 변화를 분석하면 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다. Fig. 5에서는 x 축을 하나의 변수로 나타내기 위해 표면염화물량이 가해진 면적으로 나타내었다.

염화물량과 시간의 곱이 증가할수록 균등 표면염화물량이 증가하게 되고 이에 따라 PDF가 증가하고 있음을 알 수 있다. Case 1-3의 경우는 최대 표면염화물량이 5.0 kg/m^3 , Case 4-6은 10.0 kg/m^3 , 그리고 Case 7-9의 경우는 15.0 kg/m^3 의 최대 염화물량을 나타낸다.

4. 시간의존성 확산계수와 균등 표면염화물량을 고려한 PDF 변화

4.1 해석 절차의 요약

본 절에서는 균등 염화물량과 시간의존성을 고려한 확산계수를 동시에 이용하여 PDF의 변화를 분석하도록 한다. 계산의 편의성을 위하여 100년까지 10년 단위로 PDF 변화를 분석하였다. 해석의 절차는 Fig. 2와 동일하며 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 설계변수 결정 (Table 1)
- 10년 경과시의 피복두께 위치에서의 염화물량 평가
 - Life 365 사용
 - 확산계수 및 표면염화물량의 시간의존성 고려
- 같은 설계조건 및 시간의존성 확산계수를 고려하여 피복두께 위치에서 동일한 염화물량을 가지는 균등 표면염화물량 계산

- 반복시간법을 통하여 균등 표면염화물량 도출
- d. MCS를 이용한 PDF 계산
- e. 10년 간격으로 100년 동안 위의 과정 반복

4.2 표면 염화물량의 변화에 따른 PDF의 변화 분석

본 절에서는 균등 표면염화물량의 변화와 시간의존성 확산

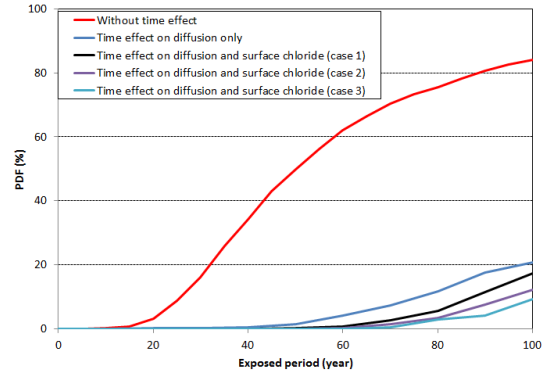


Fig. 6 PDF variation with time effect on diffusion and surface chloride content(Case 1~Case 3)

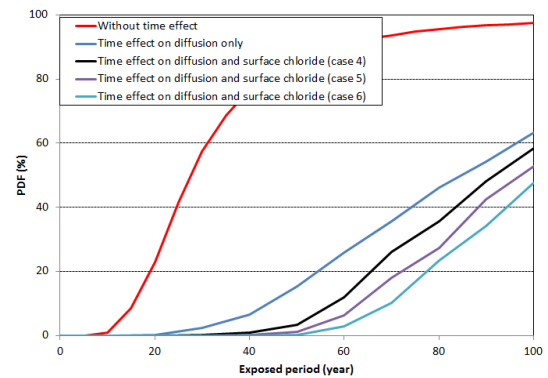


Fig. 7 PDF variation with time effect on diffusion and surface chloride content(Case 4~Case 6)

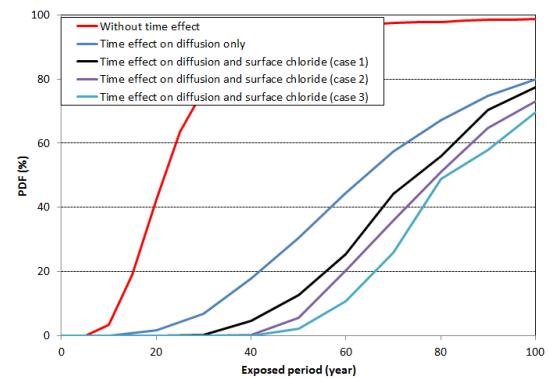


Fig. 8 PDF variation with time effect on diffusion and surface chloride content(Case 7~Case 9)

계수를 고려하여 도출된 PDF 변화를 분석하도록 한다. Fig. 3에 도시된 바와 같이 Case 1~3은 최대 염화물량을 5 kg/m^3 으로 고정하고 이에 이르는 기간을 10년, 20년, 30년으로 구분한 것이다. Case 1~3 대한 해석결과를 Fig. 6에 도시하였다. Fig. 6에 알 수 있듯이 100년 경과 후 시간의존성을 고려하지 않은 경우의 PDF는 84.0%였으나, 시간 의존형 확산계수를 고려했을 경우는 20.6%로 크게 감소하였다. 위의 두 해석은 표면염화물량이 일정한 경우이므로, Built-up을 고려한 경우, PDF는 점차 감소하게 된다. Built-up 기간이 10년에서 30년으로 증가할수록 100년후의 PDF는 17.2%, 12.2%, 9.3%로 감소하였다.

Case 4~6과 Case 7~9의 경우는 표면염화물량이 10.0 kg/m^3 경우와 15.0 kg/m^3 에 이르는 경우를 각각 나타낸다. 해석결과는 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 7에서 알 수 있듯이 시간의존성을 고려하지 않은 100년 경과후의 PDF는 97.4%로 평가되었으며, 확산계수만 고려했을 경우는 63.3%로 평가되었다. 또한 최대 염화물량에 이르는 시간이 10년에서 30년으로 증가할수록 58.4%, 52.8%, 47.47%로 100년 경과후의 PDF는 점차적으로 감소하였다.

Fig. 8의 결과(최대 염화물량이 15.0 kg/m^3 인 경우)의 해석에서는 시간영향을 고려하지 않는 경우는 PDF는 98.6%로 평가되었으며, 시간의존성 확산계수만을 고려했을 경우는 79.9%로 평가되었다. 이 값은 77.6%, 73.2%, 69.7%로 Built-up기간이 증가할수록 감소하였다.

4.3 시간의존성 표면염화물량의 변화에 따른 확률거동 분석 및 내구수명 변화

4.3.1 평균 PDF의 변화

본 절에서는 시간의존성 확산성에 따른 PDF 변화를 비교하기 위하여 100년 동안의 평균 PDF 변화를 분석하도록 한다. Case 1~Case 3, Case 4~Case 6, Case 7~Case 9의 경우 표면염화물량이 5 kg/m^3 에서 10 kg/m^3 , 15 kg/m^3 로 증가하므로 PDF와 100년 동안의 평균 PDF의 변화를 분석하도록 한다. Fig. 9에서는 시간의존성을 고려하지 않는 경우의 평균 PDF 변화를 나타내고 있다. 결과에서 알 수 있듯이 표면염화물량의 증가에 따라 평균 PDF의 증가를 알 수 있으며 이는 내구수명의 감소를 야기한다.

Built-up 기간이 증가할수록 평균 PDF는 모두 감소하였는데, 이는 Built-up기간의 증가는 균등 표면염화물량은 감소시키고 이로 인해 유입되는 염화물 농도가 감소하여, PDF가 감소하게 된다. 표면염화물 농도가 크고 Built-up 기간이 짧을 경우는 표면 염화물의 시간의존성이 크게 중요하지 않지만, 비말대와 같이 표면염화물량의 변화가 천천히 증가하는 경우에는 시간의존성 표면염화물량을 고려한 해석과 고려하지 않

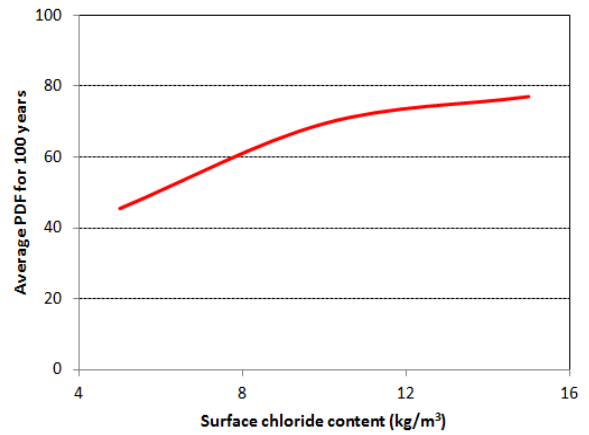


Fig. 9 Increases in average PDF for 100 years(without time effect on diffusion and surface chloride content)

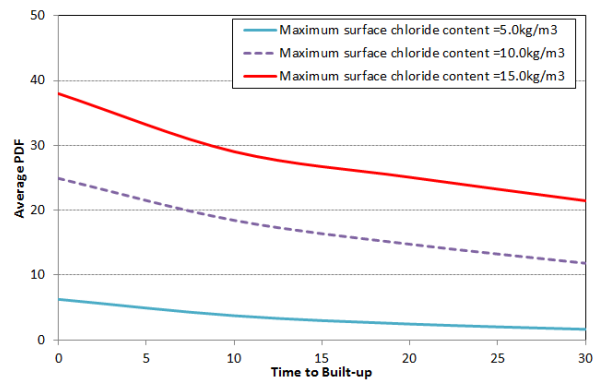


Fig. 10 Variation of average PDF with built-up period and maximum surface chloride content

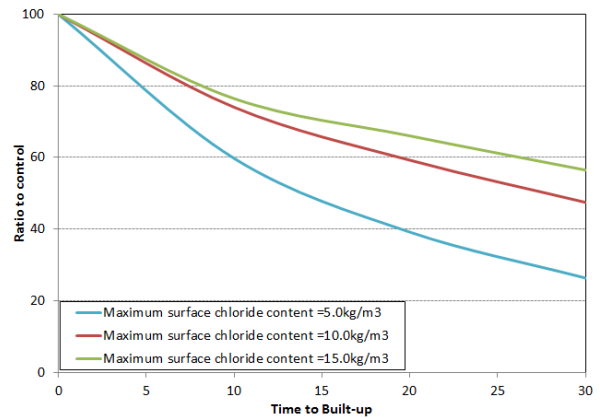


Fig. 11 Variation of average PDF ratio to control case

은 해석은 큰 차이를 보이게 된다.

시간의존성을 고려한 평균 PDF의 변화는 Fig. 10에 나타내었으며, Fig. 11에서는 변화비율을 나타내고 있다. 평균 PDF의 변화는 Built-up기간이 10년에서 30년으로 증가할 때, 표면염화물이 5.0 kg/m^3 인 경우는 26.4% 수준으로, 10.0 kg/m^3 인

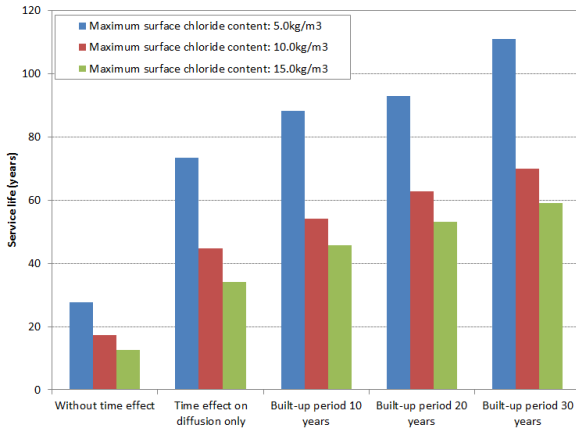


Fig. 12 Service life variation with different analysis conditions

경우는 47.5% 수준으로, 15.0 kg/m³인 경우는 56.3% 수준으로 감소하였다. 이는 표면염화물량이 낮은 비말대의 경우 Built-up 기간이 수중부보다 길게 평가되므로 비말대 콘크리트의 염화물 평가에 이러한 PDF 변화 거동이 고려되어야 한다.

4.3.2 내구수명의 변화

일반적으로 염해에 대한 목표내구성 파괴확률은 7.0~10.0%로 고려하고 있으며, 국내 시방서에서는 10.0%로 고려하고 있다(EN, 2000; Kwon et al., 2009). 해석조건에 따라 내구수명을 평가하면 Fig. 12과 같이 내구수명을 정리할 수 있다. 내구수명은 Built-up 기간이 증가할수록, 균등 표면염화물량이 낮을수록 증가하였다. 기존의 해석에서는 이러한 현상을 평가할 수 없는데, 현재의 확률론적 해석기법이 표면염화물량 및 확산계수의 시간의존성을 고려하지 못하고 있기 때문이다.

확산계수의 시간의존성을 고려하고 표면염화물이 5.0kg/m³인 경우, Built-up기간이 10년에서 30년으로 증가할 때, 내구수명은 73.5년에서 111.0년으로 증가하였다. 또한 표면염화물량이 10.0kg/m³인 경우는 54.2에서 70.1년으로 증가하였으며, 15.0kg/m³인 경우는 45.7년에서 59.0년으로 증가하였다. 내구수명 평가결과에서도 비말대와 같이 낮은 표면염화물량과 비교적 긴 Built-up 기간을 가질 경우는 내구수명이 크게 변화함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 Life 365와 같은 결정론적 해석방법과 가장 유사하게 확산계수와 표면염화물량을 시간의 함수로 고려하여 확률론적 해석을 수행하였으며, 내구적 파괴확률 및 내구수명의 변화를 분석하였다. 본 연구를 통하여 도출된 결론은

다음과 같다.

- 1) 피복두께를 100 mm로, 기본 염화물량을 $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$ 로 가정하고 시간의존성 유무를 고려하여 PDF를 분석하였다. 표면염화물량이 5.0 kg/m³인 경우, Built-up 기간이 10년에서 30년으로 증가할수록 100년 후의 PDF는 17.2%에서 9.3%로 감소하였다. 또한 표면염화물량이 10.0 kg/m³인 경우는 58.4%에서 47.47%로 감소하였으며, 15.0 kg/m³인 경우는 77.6%에서 69.7%로 감소하였다. 이는 초기부터 정상상태를 가정하지 않고 균등 표면염화물량을 고려하여 동일시간에서 유입되는 표면염화물량이 낮아지기 때문이다.
- 2) 확산계수와 표면염화물량의 시간의존성을 고려하면, 표면염화물이 5.0 kg/m³이고 Built-up기간이 10년에서 30년으로 증가할 경우, 내구수명은 73.5년에서 111.0년으로 증가하였다. 또한 표면염화물량이 10.0 kg/m³인 경우는 54.2에서 70.1년으로, 15.0 kg/m³인 경우는 45.7년에서 59.0년으로 각각 증가하였다. 제안된 기법은 결정론적 방법 및 확률론적인 방법에서 도출된 내구수명 결과 차이를 감소시킬 수 있다. 또한 비말대와 같이 표면염화물량이 낮고 Built-up기간이 긴 조건에서는 더욱 합리적인 내구성 설계 기법으로 사용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 한남대학교 교내 연구비의 지원을 받아 수행되었으며 저자는 이에 감사드립니다.

References

Broomfield, J. P. (1997), Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair, E&FN, London, 1-15.
 CEB (1997), New Approach to Durability Design, 29-43.
 DuraCrete Final Report (2000), DuraCrete Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures.
 EN 1991 (2000), Eurocode 1 - Basis of Design and Actions on Structures.
 Ferreira, M., Arskog, V., Jalali, S., and Gjørsv, O. E. (2004), Probability-Based Durability Analysis of Concrete Harbor Structures, *Proceedings of CONSEC04*, 999-1006.
 JSCE-Japan Society of Civil Engineering (2002), Concrete Library 109: Proposal of the format for durability database of concrete.
 JSCE-Japan Society of Civil Engineering (2007), Standard Specifications and Guidelines, Japan Society of Civil Engineers.
 KCI (2012), Concrete Standard Specification Durability Part, Korea Concrete Institute.
 Kwon, S. J., Na, U. J., Park, S. S., and Jung, S. H. (2009), Service Life

Prediction of Concrete Wharves with Early-aged Crack: Probabilistic Approach for Chloride Diffusion, *Structure and Safety*, 31(1), 75-83.

Poulsen, E. (1993), On a Model of Chloride Ingress into Concrete, Nordic Miniseminar-Chloride Transport, Department of Building Materials, Gothenburg.

RILEM. (1994), Durability Design of Concrete Structures, Report of RILEM Technical Committee 130-CSL, E&FN, London, 28-52.

Song, H. W., Pack, S. W., and Ann, K. Y. (2009), Probabilistic Assessment to Predict the Time to Corrosion of Steel in Reinforced Concrete Tunnel Box Exposed to Sea Water, *Construction and Building Materials*, 23(10), 3270-3278.

Tang, L., and Joost, G. (2007), On the Mathematics of Time-Dependent

Apparent Chloride Diffusion Coefficient in Concrete, *Cement and Concrete Research*, 37(4), 589-595.

Thomas, M. D. A., and Bentz, E. C. (2002), Life-365TM Service Life Prediction ModelTM and Computer program for Predicting the Service Life and Life-cycle Costs of Reinforced Concrete Exposed to Chlorides, SFA, 2-28.

Received : 10/19/2016

Revised : 12/02/2016

Accepted : 12/07/2016

요 지 : 염해에 노출된 콘크리트 구조물의 내구수명 평가는 매우 중요하므로 최근들어 결정론적 및 확률론적 방법을 통하여 내구수명을 평가하는 시도가 이루어지고 있다. Fick's 2nd 법칙에 근거한 내구수명 평가방법은 표면 염화물량과 확산계수의 시간의존성을 고려하여 합리적인 설계를 수행하고 있으나, 확률론적 방법에서는 이러한 영향이 고려되지 않고 있다. 본 논문에서는 시간에 따라 증가하는 표면염화물량을 유효 표면염화물량으로 고려한 뒤 시간의존성 확산계수를 고려하여 내구적 파괴확률을 도출할 수 있는 해석기법을 제안하였다. 표면염화물에 도달하는 기간을 10~30년으로, 표면염화물량을 5.0~10.0kg/m³으로 변화시키면서 내구적 파괴확률을 평가하고 내구수명의 변화를 분석하였다. 제안된 기법은 결정론적 내구수명 평가방법의 해석조건을 동일하게 적용시키면서 설계인자의 확률 변동성을 고려할 수 있으므로 과도한 설계를 방지함으로써 합리적인 설계기법으로 적용할 수 있다.

핵심용어 : 염해, 확률론적 방법, 균등 표면염화물량, 시간의존성 확산계수, 내구적 파괴확률
