

현장실험결과를 활용한 국내 도심지 교량구조물의 탄산화 해석

Carbonation Analysis of Bridge Structures in Urban Area Based on the Results of the Field Test

김 훈 겸^{1)*}

김 성 보²⁾

Kim, Hun Kyom

Kim, Sung Bo

Abstract

Reinforced steel corrosion due to concrete carbonation is one of main factors on the durability of RC structure. The carbonation velocity have an effect on carbon dioxide density, concrete quality and structural shape. Specially, these problems have increased in urban area. This study investigates the carbonation status of the bridges and quantifies the effect of carbonation based on various domestic field data. The failure probability of durability is evaluated on the basis of reliability concept. According to experimental results of the carbonation depth, the carbonation depth increased with structural age and carbonation velocity decreased with high strength of concrete. In most cases, the failure probability of durability by carbonation was more than 10%. Also, The results requires the minimum cover thickness of 70-80mm for target safety index($\beta=1.3$) proposed by Korean concrete specification.

Keywords : Carbonation, Failure probability of durability, Reliability concept, Reinforced steel corrosion

1. 서론

최근에 대기오염과 산성비와 같은 요인들로 인하여 콘크리트 구조물의 탄산화가 가속화되고 있으며, 이런 콘크리트의 탄산화로 인한 교량의 공용수명이 설계수명을 따라가지 못하는 결과를 초래하고 있다.

탄산화로 인한 피해는 철근이 부식됨에 따라 녹물이 유출되고 피복의 균열이 생기며, 박리 및 박락이 생기므로 이와같은 징후가 나타나기 전에 탄산화의 진행상황을 파악하는 것이 필요하다. 탄산화로 인한 콘크리트구조물의 열화 정도는 철근의 위치로 평가한다. 옥내의 경우에는 탄산화 영역이 철근 위치까지 도달한다고 해도 급속하게 부식이 발생하지는 않지만, 탄산화 깊이가 피복두께를 20~30mm 초과한 시점에서 부식될 가능성이 커지며, 옥외의 경우는 탄산화 깊이가 철근위치까지 도달하면 철근이 급속히 부식된다.

특히 대도시의 콘크리트 구조물은 탄산화에 대한 피해가 더욱 심각할 것으로 우려된다. 더욱이 최근 서울 시내에 위치한 콘크리트 구조물의 상당수가 탄산화가 주요 열화요인인 것으로 나타나(이창수 등, 2000), 이에 대한 내

구수명 예측이 중요한 것으로 사료된다.

국내에서의 탄산화에 관한 연구는 토목 및 건축 구조물 등에 대한 현장실험 및 조사를 바탕으로 국외의 기존 모델 식들과 탄산화정도를 비교하거나 이를 활용해 국외 모델식들을 수정한 연구들이 있다(권성준 등, 2007; 이영재 등, 2003). 그러나 이러한 모델식만으로는 재료의 배합, 시공시의 다양한 변동성을 고려할 수 없으며, 다수의 생산된 콘크리트 품질의 변동성을 고려할 수 없다. 최근 들어 이런 변동성을 고려하여 신뢰성 개념에 근거한 기존 구조물의 내구수명 평가에 대한 관심이 높아지고 있으나 현장계측데이터 축적의 부족 및 관련 연구의 미비로 어려움을 겪고 있다.

그러므로 실제 구조물에서 계측된 데이터를 분석 및 통계 처리하여 탄산화 깊이의 변동계수나, 다양한 탄산화 확률변수의 복합적인 변동특성을 고려한 구조물의 내구수명 분석에 대한 연구가 필요한 실정이다. 특히 탄산화가 우려되는 국내 도심지 주요 교량의 내구수명 파악은 교량 유지관리를 위한 적절한 보수시기 및 보수비용 결정을 위해 매우 중요하다. 국내의 현재 대부분 진단 보수업계에서는 구조물의 보수시 구조물의 열화에 대한 예측을

1) 정회원, 충북대학교 토목공학과 박사 수료

2) 정회원, 충북대학교 토목공학과 교수

* Corresponding author : navykhk@daum.net 031-266-3241

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2010년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

하기보다는 바로 기계적인 측정으로 보수여부를 판단하고 보수·보강공사로 이어지는 절차를 형성하고 있어, 탄산화가 구조물에 미치는 영향을 실제 현장실험결과를 바탕으로 정량화 하는 것은 매우 중요하다. 또한 교량구조물에 대한 내구수명 예측은 내구설계시 피복두께 산정과 시공 및 품질관리와도 깊은 관련이 있다.

본 연구에서는 탄산화 현장실험결과를 토대로 국내 도심지 주요교량의 내구적 파괴확률을 도출하고, 신뢰성 이론을 기반으로 하여 사용기간에 따른 내구수명을 산정하였다.

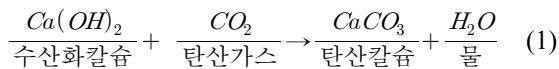
2. 교량의 탄산화속도 분석

2.1 탄산화 이론

2.1.1 탄산화 메커니즘

탄산화는 콘크리트의 표면에서 내부를 향하여 진행하며, 탄산화에 의해서 문제가 발생하는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근이 부식됨으로써 문제를 일으키는 것이다.

식(1)은 시멘트의 탄산화를 나타내는 화학반응식이다.



탄산화가 일어나는 메커니즘을 보면 시멘트의 수화 반응에서 생성되는 수산화칼슘 $[Ca(OH)_2]$ 은 pH 12~13 정도의 강알칼리성을 나타내지만 대기 중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%)와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH가 8.5~10정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반 환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다.

2.1.2 탄산화 속도

탄산화 진행속도는 콘크리트 표면으로부터 탄산화 부분과 비탄산화 부분의 경계면까지의 길이(이하 “탄산화 깊이”로 칭함)와 경과한 시간의 함수로 나타낸다. 탄산화 깊이와 경과년수의 관계는 일반적으로 식(2)와 같이 나타내며 상수 A 는 실험에 의하여 구할 수 있다.

$$C_t = A\sqrt{t}, \quad A = \frac{C_t}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

여기서 C_t 는 탄산화 깊이(mm), A 는 탄산화 속도계수, t 는 재령(년)을 나타낸다.

2.2 탄산화 현장계측

2.2.1 대상교량

국내 콘크리트구조물의 탄산화 정도를 평가하기 위하여 국내에서 실시한 교량의 안전진단결과를 수집하여 분석하였다(한국시설안전공단 정밀안전진단보고서, 1997~2007). 본 연구에 사용된 자료는 서울시 등 탄산가스농도가 높은 대도시에 위치한 사용년수 10~31년인 도심지 주요교량 22개소를 대상으로 하였으며, 총 측정개수는 490개소이다.

또한 콘크리트 강도에 따른 탄산화 속도계수를 분석하기 위하여 현장에서 채취된 대상교량의 실측 코어강도를 이용하였다. 실측코어강도는 대다수가 약 20MPa~40MPa의 범위에 포함되었다.

2.2.2 계측방법

대상교량은 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되어지는 탄산화시험법을 사용하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

페놀프탈레인법(페놀프탈레인법은 pH 지시약의 일종으로 1% 알코올용액)을 이용하여 대상 구조물 콘크리트의 탄산화 진행 정도를 측정한다.

콘크리트 구조물에서의 탄산화 시험은 구조체에서 채취한 코어 또는 구조체 안전(내하력 등)에 영향을 미치지 않는 부위를 일부분 파손하여 노출된 대상 측정 면에 가능한 한 빨리 분무하여 탄산화 깊이를 측정하며, pH 8.5~10.0 이상의 알칼리 측에서 홍색으로 발색하고 중성 측에서는 무색으로 나타나게 된다. 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 버니어 캘리퍼스 등으로 측정하며 이 깊이가 탄산화 깊이가 된다.

2.3 탄산화 계측결과 분석

본 절에서는 교량의 정밀안전진단결과를 토대로 탄산화 깊이 및 탄산화속도계수를 분석하였다.

Fig. 2는 현장계측 데이터의 전체개소(490개소)를 통



Fig. 1 Measurement of carbonation depth

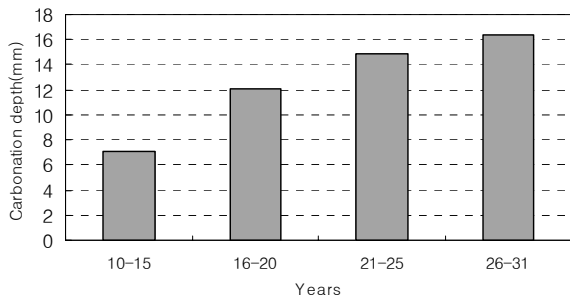


Fig. 2 Carbonation depth with age

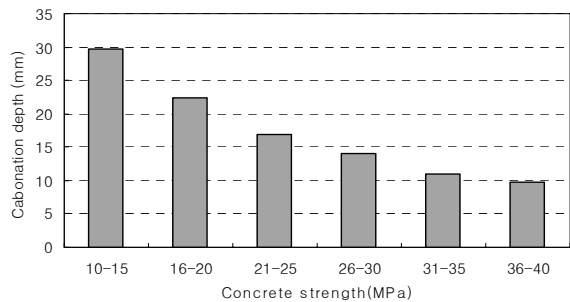


Fig. 3 Carbonation depth with concrete strength

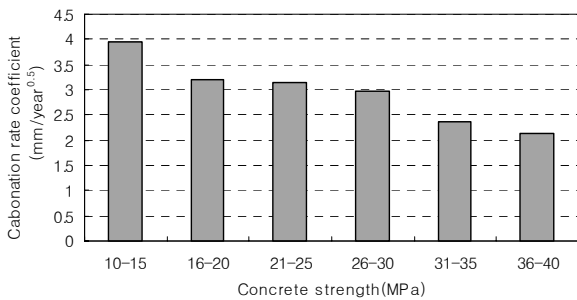


Fig. 4 Carbonation rate coefficient with concrete strength

계 처리하여, 교량의 사용년수에 따른 탄산화깊이를 나타낸 것으로 사용년수가 증가함에 따라 탄산화깊이는 증가하는 경향을 보였다. 현장 계측결과와 피복두께의 평균 56.36mm에 대하여 전체개소의 탄산화깊이의 평균은 12.96mm로 나타났다. Fig. 3은 콘크리트 압축강도에 따른 탄산화깊이를 분석한 것으로, 사용년수가 20년 이상 된 교량을 선별하여 분석하였으며 강도가 클수록 탄산화깊이는 감소하는 경향을 보였다. Fig. 4는 탄산화속도계수와 콘크리트 압축강도와의 관계를 분석한 것으로 콘크리트 압축강도가 클수록 탄산화속도계수는 감소하는 경향을 보였다.

한편 계측결과는 가장 일반적이고 범용화된 모델식인 식(2)를 이용하여, 식(3)과 같은 탄산화 깊이와 강도와의 관계식을 도출하였다.

$$C_t = k(-0.08f_c + 5.024)\sqrt{t} \quad (3)$$

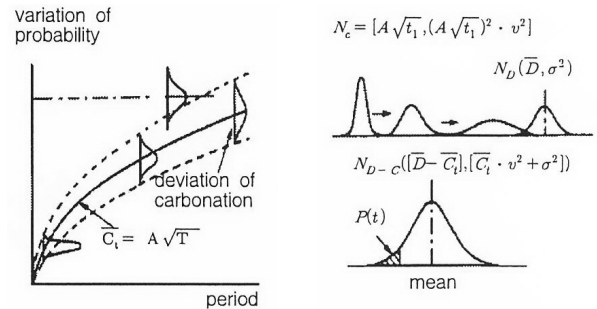


Fig. 5 Failure probability of durability

여기서 C_t 는 탄산화 깊이(mm), f_c 는 콘크리트 압축 강도(MPa), k 는 탄산화깊이의 변동성에 따른 분포계수, t 는 재령(년)을 나타낸다.

3. 신뢰성 이론에 의한 탄산화 분석

3.1 내구적 파괴확률

본 연구에서는 탄산화에 의한 도심지 교량의 내구적 파괴확률을 도출하기 위하여, 화천(和泉, 1988)의 신뢰성 이론을 적용하였으며, 시간에 따라 증가하는 탄산화깊이의 변동성과 피복두께의 변동성을 정규분포로 고려하였다.

편차를 갖는 콘크리트의 탄산화 진행과 철근 피복두께와의 관계를 개념적으로 Fig. 5에 나타내었다. 탄산화 깊이는 재령과 더불어 증가하며 이 편차도 재령과 더불어 증가하게 되지만 철근 피복두께는 재령과 연관성이 없기 때문에 편차는 일정하게 유지하게 된다. Fig. 5(a)에 나타난 탄산화 깊이 분포의 시간에 따른 진행과 철근 피복 두께와의 분포 관계를 보다 알기 쉽도록 하기 위하여 일차적으로 나타낸 것이 그림 Fig. 5(b)이다. 횡축은 탄산화 깊이 및 철근 피복두께를 나타낸 것이며 종축은 분포 확률을 나타낸 것이다.

Fig. 5(b)는 탄산화 깊이 분포 예를 3가지로 나타내고 있으며 재령이 좌측에서부터 진행한다. 즉, 탄산화 깊이는 재령과 더불어 평균치가 증가하며, 편차의 정도도 재령과 더불어 증대하여 어느 시점에서 탄산화 깊이의 분포는 피복두께 분포와 일부 겹치게 된다. 이때, 이 겹치는 부분의 면적이 파괴확률이 된다. 여기서 $P(t)$ 는 시간에 따른 내구적 파괴확률(철근부식확률)로서 철근 피복두께와 탄산화 깊이 차의 분포를 보여주며, 식 (4)-(6)으로 표현될 수 있다(和泉, 1988).

$$f(D-C_t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(C_t^2 v^2 + \sigma^2)}} \exp\left[-\frac{\{(D-C_t) - (\bar{D} - \bar{C}_t)\}^2}{2(C_t^2 v^2 + \sigma^2)}\right] \quad (4)$$

$$P(t) = \int_{-\infty}^0 f(D - C_i) d(D - C_i) \text{ (옥외면 풍우에 접한 경우)} \quad (5)$$

$$P(t) = \int_{-\infty}^{-2} f(D - C_i) d(D - C_i) \text{ (옥내면의 경우)} \quad (6)$$

Fig. 5 및 식(4)–(6)에서, C_i 는 탄산화깊이, \bar{C}_i 는 탄산화 깊이의 평균, v 는 탄산화깊이의 변동계수, D 는 피복 두께, \bar{D} 는 피복두께의 평균, σ 는 피복두께의 표준편차, N_C 는 탄산화깊이의 확률분포, N_D 는 피복두께의 확률분포, $P(t)$ 는 시간에 따른 내구적 파괴확률을 나타낸다.

3.2 내구수명 평가

도심지 교량의 탄산화에 대한 내구수명을 예측하기 위하여, 계속된 데이터를 통계 처리하여 탄산화깊이 평균값과 표준편차, 변동계수를 Table 1과 같이 계산하였고, 계산 값을 식(4)–(6)에 대입하여 교량의 사용연수에 따른 내구적 파괴확률을 도출하였다.

또한 계산된 내구적 파괴확률을 토대로 교량의 공용연수에 따른 탄산화 내구수명을 도출하였다. 콘크리트의 내구성 설계법은 결정론적 설계법과 확률론적 설계법으로 구분할 수 있다(RILEM, 1994). 본 논문에서는 신뢰성 이론에 근거한 확률론적 설계방법을 이용하였으며 그 기본 개념은 식(7)과 같다.

$$P_t = P(R - S)_t < P_f \quad (7)$$

여기서 P_t 는 목표 내구수명 내에서의 내구적 파괴확률, R 은 저항함수, S 은 외력함수, P_f 은 내구적 허용파괴확률을 나타낸다.

콘크리트 구조물의 목표내구수명은 구조물이 특별한 유지관리 없이 일상적인 유지관리 하에서 내구적 한계상태에 도달하기까지의 기간으로 정의되며, 높은 내구성이 요구되는 구조물은 65년, 특별히 높은 내구성이 요구되는

구조물은 100년으로 정하고 있다(콘크리트표준시방서 내구성편, 2004).

또한 내구성 설계 및 평가에서 한계상태에 도달하는 확률, 즉 파괴확률은 신뢰도지수(β)로 표현될 수 있는데, β 에서 ∞ 까지 정규분포값을 적분한 값이 파괴확률이다. 일반적인 내구신뢰성해석에서 목표신뢰도지수는 높은 내구성이 요구되는 구조물의 경우는 65년에서 1.3, 특별히 높은 내구성이 요구되는 구조물의 경우는 100년에서 1.3 수준이다. 본 논문에서는 대상구조물이 교량임을 감안하여 목표신뢰도 지수를 사용연수 100년에서 1.3으로 정하였다. Table 2는 신뢰성지수와 파괴확률의 관계를 보여주고 있다.

3.2.1 구조물 유지관리 관련 내구수명 분석

탄산화 환경에서 국내도심지 주요교량의 내구적 파괴확률을 파악하기 위해, 탄산화 깊이와 콘크리트 강도와의 관계로부터 도출된 식(3)과 신뢰성이론에 근거한 식(4)–(6)을 이용해 교량의 내구적 파괴확률을 도출하였다. 여기서, 피복두께의 변동계수는 일반적으로 내구신뢰성해석에서 사용하는 0.1과 0.3사이의 범위로 간주하였으며 평균피복두께는 현장 구조물의 계속결과인 56mm를 반영하였다.

Fig. 6~9는 국내 도심지 주요교량의 내구적 파괴확률 및 내구수명을 분석한 것으로, Fig. 6, 7은 피복두께 변동계수가 0.1인 경우이며, Fig. 8, 9는 피복두께 변동계수가 0.3인 경우를 나타낸다. 여기서, 콘크리트 압축강도는 대부분 현장구조물의 설계기준강도를 감안하여 21, 24, 27MPa인 경우를 기준으로 분석하였고, 콘크리트 압축강도 변동계수를 0으로 산정하여 평균값만을 사용한 경우와 현장시험결과(압축강도 변동계수 0.1수준)를 반영한 경우를 비교하였다.

Fig. 8과 같이 피복두께 변동계수가 0.3일 때, 모든 강도에 대해 내구적 파괴확률이 10%(신뢰도지수 $\beta = 1.3$)를 초과하는 것으로 분석되어 탄산화의 단일 열화만으로도 시방기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 서울시를 비롯한 국내 대도시 주요교량이 탄산화에 의한 피해가 크을 나타내며, 그 이유는 대기 중의 이산화탄소 농도가 높고 자동차의 배기가스나 공장에서 나오는 가스 등의 산성 화학적 물질이 콘크리트에 침입하기 때문으로 판단된다. 본 논문에서는 건전부 콘크리트만을 대상으로 분석한 내용이므로, 누수나 균열등의 조건에 노출되면 이보다 짧은 기간 내에 부식에 노출될 수도 있어 국내 도심지 교량의 가장 중요한 성능저하 요인은 콘크리트의 탄산화로 인한 철근부식으로 판단되어 진다. 이에 교량 유지관리시 도심지에 위치한 교량의 탄산화에 대한 면밀한 검토 및 계획적인 보수보강 시기의 선정이 필요할 것으로 판단된다.

Table 1 Coefficient of variation for carbonation depth

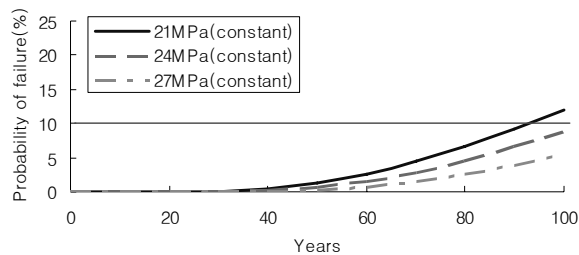
Test point	Carbonation depth(mm)		
	Average	SD	COV
490	12.96	7.48	0.577

* Cover Depth(average) : 56.36mm

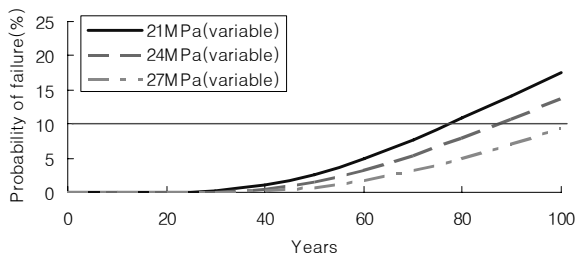
** SD: Standard Deviation, COV: Coefficient of Variation

Table 2 Reliability index vs. Failure probability

β	3.8	3.0	2.0	1.8	1.64	1.50	1.30	0.00
$P(t)$ (%)	0.02	0.14	2.28	3.59	5.00	6.68	10.00	50.00

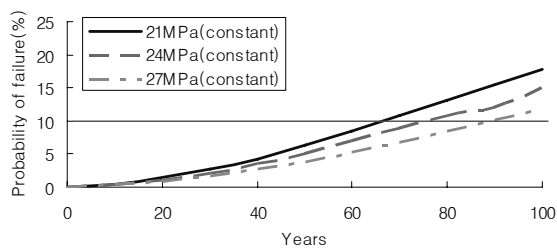


(a) Concrete strength = constant

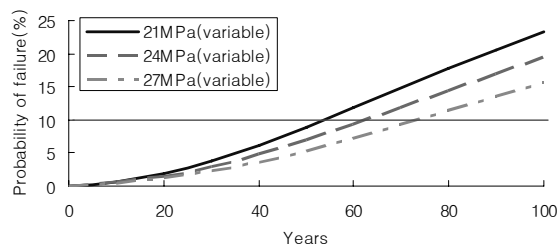


(b) Concrete strength = variable

Fig. 6 Probability of carbonation failure (COV of cover depth=0.1, cover depth=56mm)



(a) Concrete strength = constant



(b) Concrete strength = variable

Fig. 8 Probability of carbonation failure (COV of cover depth=0.3, cover depth=56mm)

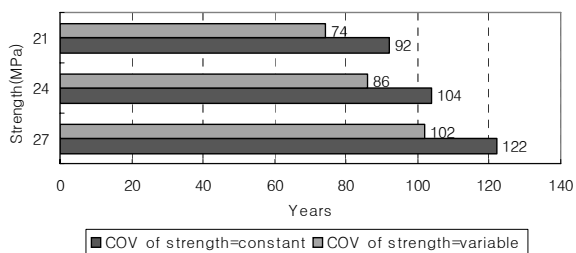


Fig. 7 Service life of structure (COV of cover depth=0.1, cover depth=56mm)

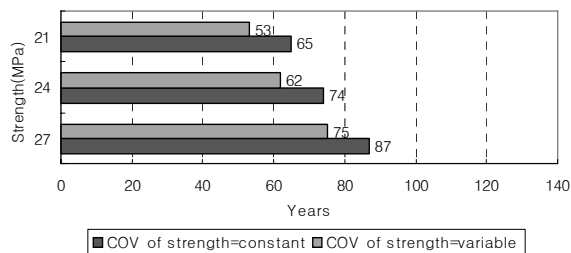


Fig. 9 Service life of structure (COV of cover depth=0.3, cover depth=56mm)

3.2.2 설계 피복두께 산정관련 내구수명 분석

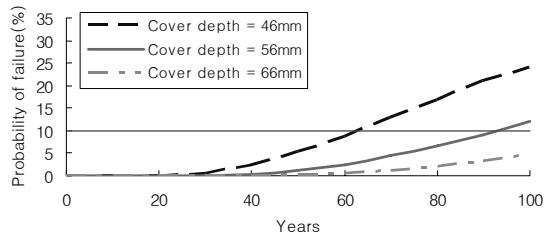
본 절에서는 콘크리트 내구설계시 목표내구수명을 만족하기 위한 도심지 교량의 피복두께를 분석하였다. 우선, 피복두께의 변화에 따른 내구수명을 알아보기 위하여, 현장측정결과와 평균 피복두께(\bar{D}) 56mm를 기준으로, 현장 평균피복두께보다 10mm큰 경우($\bar{D}+10$ mm)와 10mm작은 경우($\bar{D}-10$ mm)를 비교하였다.

Fig. 10, 11은 피복두께 변동계수가 0.1인 경우이고 Fig. 12, 13은 피복두께 변동계수가 0.3인 경우이다. Fig. 10에서 콘크리트 강도가 21MPa이고 피복두께가 56mm인 경우 내구수명은 92년이며, 피복두께가 46mm인 경우 내구수명은 62년으로 100년 미만으로 나타난다. 한편 피복두께가 66mm인 경우는 100년 경과 후에도 파괴확률이 4.9%로 내구적 파괴확률이 10% 미만이고 내구수명은 127년으로 나타났다. 즉 평균 피복두께를 현장측치보다 10mm 작게 하였을 때 내구수명은 30년이 감소하였으며, 10mm 크게 하였을 때는 35년이 증가하여

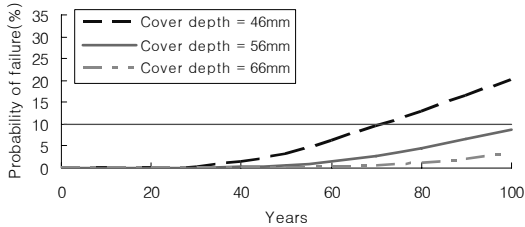
피복두께 증가에 따라 내구수명은 큰 폭으로 증가하였다. 이는 내구성 설계에서 피복두께의 확보가 얼마나 중요한지를 보여주고 있으며, 특히 도심지와 같이 탄산화에 노출된 환경에서는 피복두께 산정시 내구수명 분석을 토대로 적절한 피복두께를 확보하는 것이 필요하다. Fig. 14는 피복두께의 증가에 따른 내구수명을 분석한 것으로, 도심지 교량에서 피복두께 변동계수가 0.1인 경우 목표내구수명 100년을 만족하기 위해서는 피복두께 70mm 이상이 확보되어야 할 것으로 분석되었으며, 피복두께 변동계수가 0.3인 경우는 목표내구수명을 만족시키기 위해서 80mm 이상이 확보되어야 할 것으로 분석되었다.

3.2.3 콘크리트 품질관리 및 시공성 관련 내구수명 분석

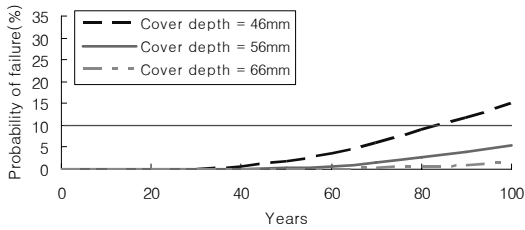
앞의 Fig. 6과 8에서 피복두께 변동계수가 0.3인 경우는 피복두께 변동계수가 0.1인 경우에 비해 강도별 내구적 파괴확률이 약 1.5~2배 증가를 보였다. 피복두께의 변동계수는 콘크리트의 시공 관리품질 나타내므로, 콘크



(a) Strength = 21Mpa(constant)

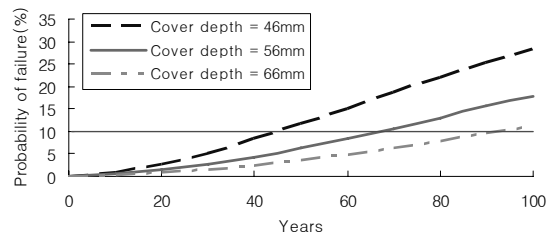


(b) Strength = 24Mpa(constant)

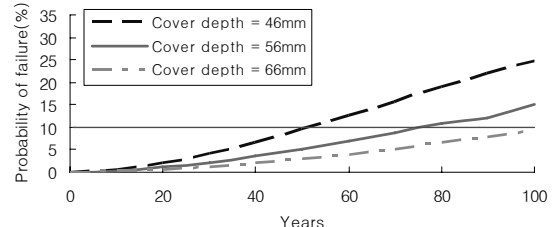


(c) Strength = 27Mpa(constant)

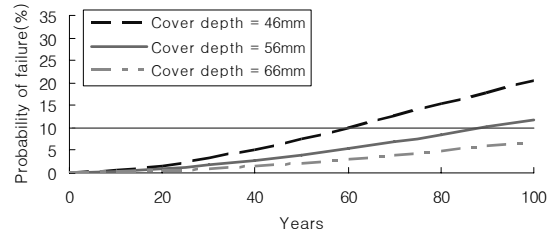
Fig. 10 Probability of carbonation Failure
(COV of cover depth=0.1, Concrete strength = constant)



(a) Strength = 21Mpa(constant)

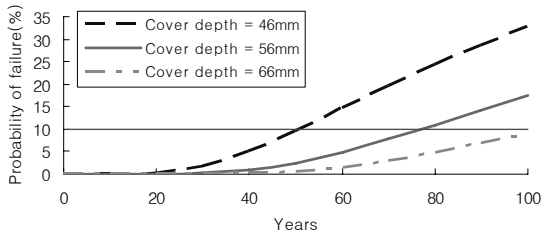


(b) Strength = 24Mpa(constant)

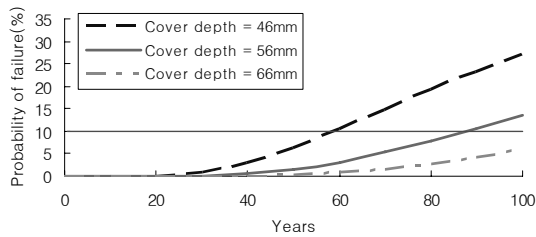


(c) Strength = 27Mpa(constant)

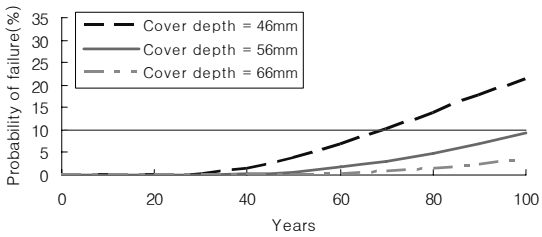
Fig. 12 Probability by carbonation failure
(COV of cover depth=0.3, Concrete strength = constant)



(a) Strength = 21Mpa(variable)

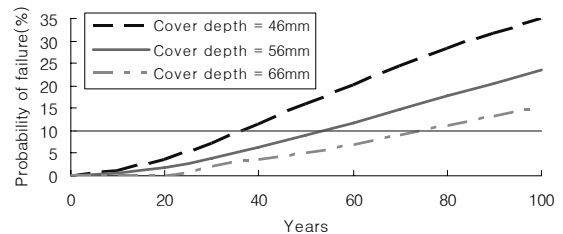


(b) Strength = 24Mpa(variable)

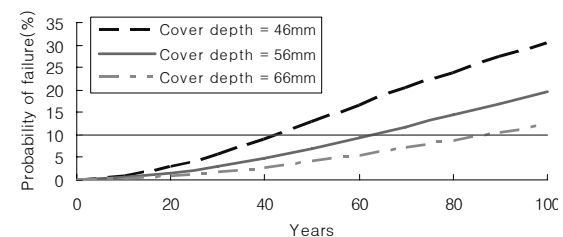


(c) Strength = 27Mpa(variable)

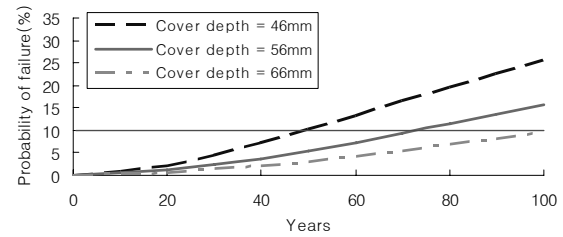
Fig. 11 Probability of carbonation Failure
(COV of cover depth=0.1, Concrete strength = variable)



(a) Strength = 21Mpa(variable)



(b) Strength = 24Mpa(variable)



(c) Strength = 27Mpa(variable)

Fig. 13 Probability by carbonation failure
(COV of cover depth=0.3, Concrete strength =variable)

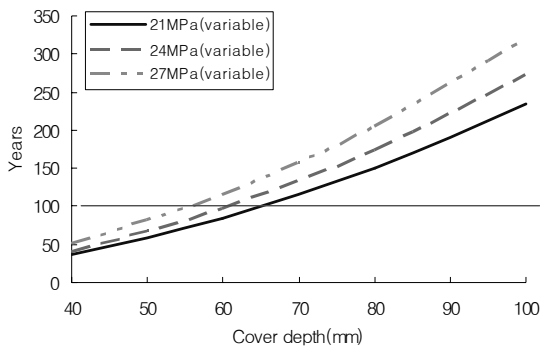


Fig. 14 Relationship between cover depth and service life (COV of cover depth=0.1)

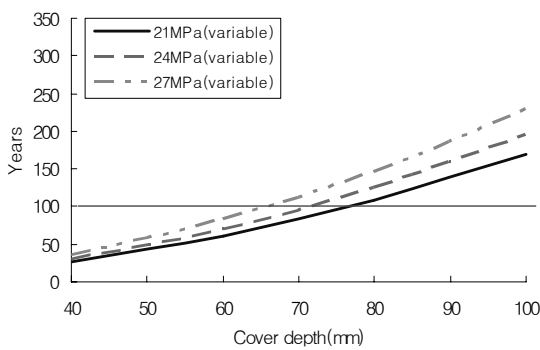


Fig. 15 Relationship between cover depth and service life (COV of cover depth=0.3)

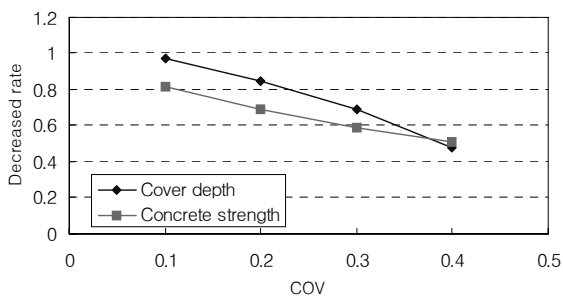


Fig. 16 Effect of Coefficient of Variation

리트의 시공의 정확도가 구조물의 내구적 파괴확률에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 한편, 현장실험결과에 따라 강도의 변동성을 고려한 경우는 고려하지 않은 경우에 비하여 최대 약 1.8배의 파괴확률 증가를 보였으며 강도의 감소에 따라 교량의 내구수명은 감소하였다. 즉, 구조물 신축시 양질의 골재를 사용하고 물-시멘트비를 작게 하여 강도를 확보하는 것이 탄산화에 대한 대책으로 매우 중요하다고 판단된다.

Fig. 16은 피복두께와 강도의 변동성에 따른 내구수명의 감소폭을 비교한 것으로, 피복두께는 현장 평균피복두께인 56mm를 반영하였고, 강도는 21MPa인 경우를 대

상으로 하였다. 피복두께 변동계수가 0.1인 경우는 피복두께의 변동성을 고려하지 않은 경우와 큰 차이를 보이지 않았으며, 강도의 변동계수가 0.1인 경우는 강도의 변동성을 고려하지 않은 경우에 비하여 약 20%의 내구수명 감소를 나타냈다. 두 확률변수의 변동성을 비교하면, 변동계수 0.1-0.3범위에서는 강도의 변동성이 피복두께의 변동성보다 내구수명에 미치는 영향이 큰 것으로 분석되었으며, 변동계수 0.4수준에서는 거의 동일한 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

4. 결론

현장실험결과를 활용한 국내 도심지 교량구조물의 탄산화 해석을 통하여 나타난 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 서울시 등 탄산가스농도가 높은 대도시에 위치한 사용연수 10~31년인 도심지 주요교량 22개의 탄산화 현장실험결과를 토대로 신뢰성 이론을 적용하여 사용기간에 따른 내구수명을 산정하였다.

2) 도심지 국내 주요교량의 탄산화 분석결과, 피복두께 변동계수가 0.3일 때, 모든 강도(21, 24, 27MPa)에서 내구적 파괴확률이 10%(신뢰도지수 $\beta = 1.3$)를 초과하는 것으로 분석되어 탄산화의 단일 열화만으로도 시방기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이에 교량 유지관리시 도심지에 위치한 교량의 탄산화에 대한 면밀한 검토 및 계획적인 보수보강 시기의 선정이 필요할 것으로 판단된다.

3) 피복두께의 증가에 따른 내구수명을 분석한 결과, 피복두께 변동계수가 0.1인 경우 목표내구수명을 만족하기 위해서는 피복두께 70mm 이상이 확보되어야 할 것으로 분석되었으며, 피복두께 변동계수가 0.3인 경우는 80mm 이상이 확보되어야 할 것으로 분석되었다.

4) 탄산화 환경에서 콘크리트 강도 및 피복두께의 변동성에 따라 교량의 내구수명은 큰 폭으로 감소하였다. 따라서 구조물 신축시 콘크리트 배합 및 타설에 대한 품질관리수준을 향상시켜 강도 및 피복두께의 변동성을 줄이는 것이 필요하다.

5) 현재, 국내 구조물에 대한 내구수명 파악시 폭넓은 현장 계측 데이터의 축적 및 내구수명 평가방법에 관한 연구의 미비로 많은 어려움을 겪고 있다. 본 논문의 연구 결과는 도심지 교량구조물의 탄산화에 대한 유지관리 및 내구설계시 기초자료로 이용될 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. 권성준, 박상순, 남상혁, 노병철 “국내 탄산화 실태자료를 이용한 탄산화 예측식의 제안”, 한국구조물진단학회지, 제11권 5호, 2007, pp.81-88.
2. 이영재, 김용희, 이윤영 “동해안 39개 철도구조물의 염화물 함유

량과 증성화에 대한 현황분석”, 한국구조물진단학회지, 제7권 1호, 2003, pp.259-266.

3. 이창수, 설진성, 윤인석 “서울시내 140개 철근콘크리트 교량의 내구성 현황 분석”, 한국구조물진단학회지, 제4권 3호, 2000, pp.161-168.

4. 콘크리트표준시방서 내구성편, 건설교통부, 2004.

5. 한국시설안전공단, 정밀안전진단보고서, 1997-2007.

6. 和泉意登志, “構造物の耐久設計手法例—鐵筋のかぶり厚さの信頼性設計手法—”, 콘크리트工学, 26, No. 11, 1988, pp.38-42.

7. RILEM, Durability Design of Concrete Structures, Report of RILEM Technical Committee 130-CSL, E&FN SPON, 1994.

(접수일자 : 2010년 1월 6일)
 (1차수정일자 : 2010년 3월 9일)
 (심사완료일자 : 2010년 3월 25일)

요 지

철근콘크리트의 내구성을 저하시키는 주요 원인중의 하나는 콘크리트 탄산화로 인하여 철근이 부식되는 것이다. 탄산화속도는 구조물이 위치한 환경의 이산화탄소 농도, 콘크리트 품질, 구조물의 형상 등에 의해 영향을 받게 되는데 특히, 도심지 콘크리트 구조물의 탄산화에 대한 문제가 증가되고 있다. 본 논문에서는 국내에서 광범위하게 시공된 교량구조물에 대한 실태조사를 이용하여 탄산화가 교량구조물에 미치는 영향을 파악하였다. 또한 계측결과들을 바탕으로 탄산화에 의한 구조물의 내구적 파괴확률을 신뢰성 이론을 기반으로 하여 분석하였다. 도심지 환경에 따른 탄산화의 분석결과 콘크리트 강도가 증가함에 따라 탄산화 속도가 감소하고, 교량의 사용년수가 증가함에 따라 탄산화깊이는 증가함을 보였다. 또한 신뢰성이론을 기반으로 도심지 교량의 내구적 파괴확률을 분석한 결과, 대부분의 경우 내구적 파괴확률이 10%이상으로 분석되었고, 목표내구수명을 만족하기 위해 최소 피복두께가 70-80mm이상 확보되어야 할 것으로 분석되었다.

핵심 용어 : 탄산화, 내구적 파괴확률, 신뢰성 개념, 철근부식