

부식촉진 실험을 통한 대기환경에서 신설 도장계의 노화곡선 제안

정영수^{1*}, 김민정², 전석현³, 안진희⁴, 김인태⁵

Suggestion of Deterioration Curve for New-type Coating on Atmospheric Environment by Acceleration Corrosion Test

Young-Soo Jeong^{1*}, Min-Jeong Kim², Seok-Hyeon Jeon³, Jin-Hee Ahn⁴, In-Tae Kim⁵

Abstract: In this study, to propose the deterioration curves of urethane, ceramic, polysiloxane and fluorocarbon coating for the steel bridge, an accelerated corrosion tests were carried out. The each coating system was applied on the top of the specimens, and circular initial defects were introduced with different diameters with 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 mm. An accelerated corrosion test condition was used to simulate severe corrosive environment depending on ISO 20340. The deterioration curve of each coating type was evaluated based on deteriorated area from the circular defects. In order to evaluate the coating service life of installed steel bridge using deterioration curve, the acceleration coefficient was calculated at correlation between ISO 20340 and corrosivity categories by ISO 9223 based on field corrosion rate. From test results, the propagation rate of coating deterioration area was different to diameter of circular defects. In case of urethane coating, the coating service lives of 3% deterioration area was evaluated in 31.8, 15.8, 9.9 and 3.9 years with C2, C3, C4 and C5 category.

Keywords: Accelerated corrosion test, Steel bridge coating system, Acceleration coefficient, Coating service life

1. 서 론

일반적으로 강구조물은 물리적 외부환경으로부터 시설물을 보호하고 노후화 및 열화방지, 미적기능 향상을 위하여 구조물 표면에 도장을 실시함으로써 발청으로 인한 단면손실 방지와 부재의 구조성능 변화 등을 방지하고 있다. 하지만 대기환경에 노출된 강구조물은 강우, 온도, 습도 등의 기후조건과 비산염분, 동결방지제 등의 환경조건에 의해 부식 손상이 발생한다(Kainuma, 2014). 도장의 경우 강구조물의 사용수명이나 운영수명보다 내구성이 부족하여 도막의 열화에 따른 부식손상이 발생되며 구조물의 운영기간 동안 반복적인 재도장이 실시되어야 한다. 사회간접시설물과 같은 대형구조물의 재도장은 많은 비용 및 환경오염을 유발하게 되고, 재도장기간 동안 시설물의 공간적 제약과 같은 운영에 영향을 미칠 수 있다. 또한 재도장의 경우 동일한 환경조건에서도 공간 및 위

치 등 사용조건에 따라 다양한 손상이나 노후화 정도의 차이가 다르게 발생하고 있으나 노후화에 대한 판단기준을 갖고 있지 못하여 현장관리자가 합리적 기준을 통하여 재도장시기 및 기간 그리고 도장계를 선택하기 어렵다(Fujiwara and Miyake, 2001; Lee, 2010).

일반적으로 도장계의 내구성 평가에는 실내 부식촉진실험과 옥외폭로실험으로 나누어져 실시되어지고 있다. 옥외폭로 실험은 노출지의 실제 환경에 의한 노화현상 및 노화수명에 대한 확실한 데이터를 얻을 수 있지만, 수년에서 수십 년이라는 장기간의 노출실험기간을 필요로 한다. 또한 결과를 직접적으로 다른 부식환경에 적용하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 단기간에 도장계의 내구성에 대한 검토와 옥외노출실험을 보완하는 방법으로 부식촉진실험이 실시되어지고 있다. 도막의 방청성능을 평가하는 하는 방법으로 부식촉진 실험은 염수분무 시험방법을 사용하고 있지만 실제 환경조건과의 상호 호환성 부족의 단점을 가지고 있다. 또 다른 표준평가법인 Norsok M 501, ISO 20340 시험법은 염수분무시험, 건조, 자외선 조사를 반복하는 시험방법으로 해상 구조물의 도막 평가에 적용되고 있다.

강구조물 도장의 노화도 평가와 수명예측에 관한 연구는 국외에서 활발하게 진행되고 있으며(Japan Society of Civil Engineers, 2014; Nicolai et al, 2007), 국내에서는 최근 한국도로공사에서 실시되고 있다(Lee et al, 2004). 하지만 부식촉진

¹정회원, 부산대학교 지진방재연구소, 선임연구원, 교신저자

²정회원, 부산대학교 토목공학전공, 석사졸업

³정회원, 경남과학기술대학교 토목공학과, 박사과정

⁴정회원, 경남과학기술대학교 토목공학과, 부교수

⁵정회원, 부산대학교 건설융합학부 토목공학전공, 교수

*Corresponding author: ysjung@pusan.ac.kr

Seismic Research and Test Center, Pusan National University, Yangsan, 50612, Korea

•본 문에 대한 토의를 2019년 3월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Coating system of specimens

Specimens	Coating type	Coating layer				Measured film thickness (μm)
		1st	2nd	3rd	4th	
UZ-B	Urethane	Inorganic zinc 75 μm	Mist coat	High solid epoxy 100 μm	Urethane 80 μm	260
CZ-B	Ceramic	Inorganic zinc 75 μm	Mist coat	Ceramic protective paint 100 μm	Ceramic urethane 80 μm	251
PZ-B	Polysiloxane	Inorganic zinc 75 μm	Mist coat	High solid epoxy 100 μm	Polysiloxane 80 μm	221
FZ-B	Fluorocarbon	Inorganic zinc 75 μm	Mist coat	High solid epoxy 100 μm	Fluorocarbon 50 μm	245

실험에서는 주로 도막의 내구성에 관한 평가가 이루어졌으며, 옥외노출실험, 공용중인 강구조물에서 현장계측을 통하여 열화상처리기술을 통한 도장의 노화도 평가와 수명예측을 실시하고 있으나(Lee et al, 2015; Lee and Chang, 2016), 실내 실험을 통한 도장 내구성 평가 결과를 공용중인 강구조물에 적용하기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 강교량에 적용되고 있는 도장계를 대상으로 극한환경을 모사한 부식촉진실험을 실시하여 도장계별 노화모델을 구축하고자 한다. 또한 교량이 가설된 지역의 부식성 등급과 부식촉진실험의 결과를 이용하여 실제 환경조건에 적용 가능하도록 촉진배율을 산출하여 부식성 등급에 따른 도장계별 노화곡선을 제시하고 도장계별 사용수명을 예측하였다.

2. 도막노화 시험 및 노화면적 측정

2.1 시험편 제작

도장의 방청성 및 내후성을 좌우하는 가장 중요한 인자가 표면처리이며, 도막의 초기 파손의 60~80%는 부적절한 표면처리에 기인한다고 알려져 있으며 본 연구에서는 가로 70 mm, 세로 150 mm, 두께 3 mm의 SS275 강재를 사용하였으며, SSPC SP-10기준 블라스트 표면처리 후 도장을 실시하였다. 2000년대 건설된 강교량은 주로 내후성 중방식 도장계를 적용하였으며, 상도의 종류가 다양화되고 건조도막두께 및 하도의 종류에 따라 분류가 된다. 본 연구에서 신설용 도장계의 상도는 우레탄계, 세라믹계, 폴리실록산계 및 불소수지계를 대상으로 하였으며, 하도는 무기징크를 도포하였다. Table. 1에 각각의 도장계별 도장사양 및 건조도막 두께 측정 결과를 정리하여 나타내었으며, 설계도막두께와 시험체의 건조도막 두께는 유사하게 나타났다.

도막의 내구성 실험에서는 노화현상을 유도 및 촉진시키기 위하여 초기결함을 도입하고 있으며, 본 연구에서도 Fig. 1과

같이 직경 0.5, 1, 3, 5 mm의 원형 결함을 소지면까지 도달하도록 기계가공을 하였다.

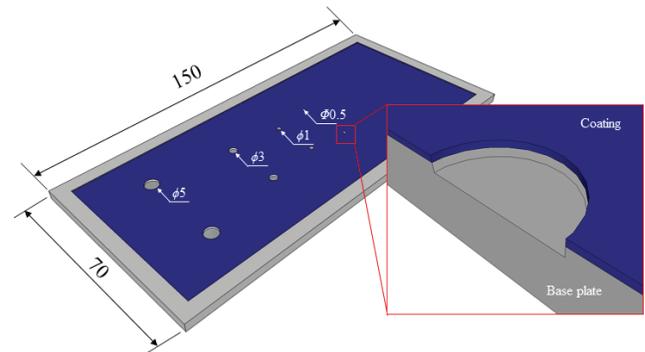


Fig. 1 Dimension of tested specimen and coating defects (mm)

2.2 실내 부식실험 조건

실내 부식촉진실험에는 혹독한 부식환경 하에서 도장계의 내후성 평가에 널리 사용되고 있는 ISO 20340을 사용하였다. 혹독한 대기부식환경을 모사한 부식촉진실험법은 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 3일간의 자외선노출/결로, 3일간의 염수분무, 1일간의 저온노출의 7일간이 1사이클로 구성되어 있다. 자외선 노출/결로는 ISO 11507의 조건에 따라 (60±3) °C, 방

사조도 0.71 W/m²에서 4시간 자외선노출과 (50±3) °C에서 4시간 결로의 반복으로 총 72시간 실시하였다. 그리고 염수분무는 ISO 9227의 조건에 따라 5% 염분의 (35±2) °C 염수를 총 72시간 분무 후 저온노출은 (-20±2)°C에서 24시간 노출시키게 된다.

실험 개시 후 초기, 5, 10, 15, 20 사이클 후 시험편 표면변화에 대한 육안관찰과 노화면적을 측정하였다.

2.3 육안 조사결과

도장의 노화도는 육안관찰(녹, 박리, 균열, 변퇴색)과 전기화학반응(교류임피던스)을 이용한 평가가 이루어지고 있다.

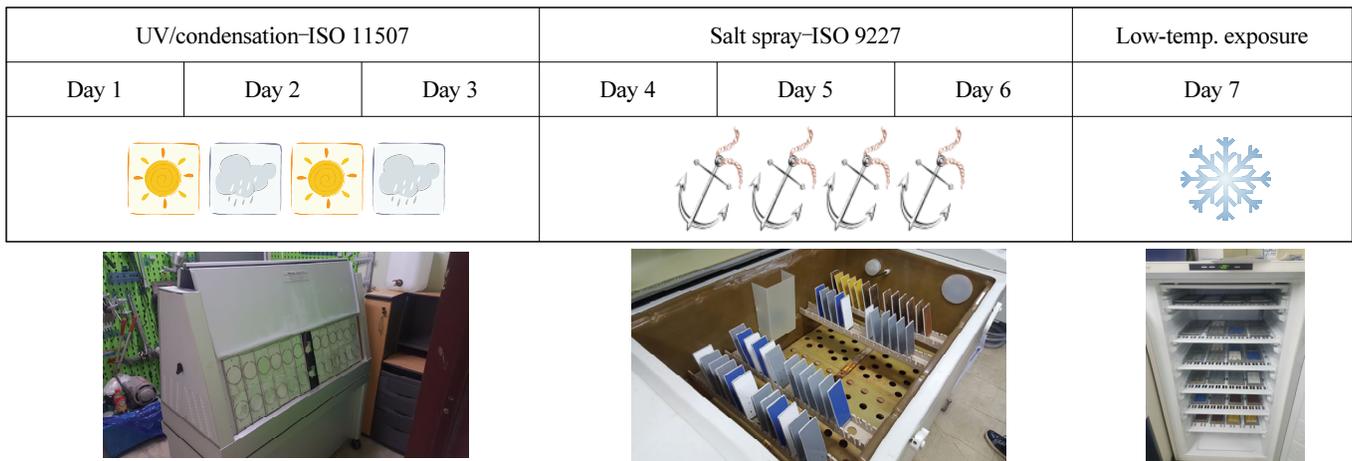


Fig. 2 Environmental condition of accelerated corrosion test

동일한 시험체에 대한 부식시험기간의 증가에 따른 도막의 육안관찰과 노화면적을 측정을 통하여, 도장계별 특성에 따른 도장의 열화거동을 평가하였다.

노화 실험 전후 외관검사를 통한 도장계별 내구성 비교 및 평가를 위하여 Fig. 3 같이 시간경과에 따른 도막 외관을 비교하였다. 상도 및 하도의 종류와 특성에 관계없이 초기결함을 도입한 부위에서만 도막열화가 진행되었으며, 초기결함을 도입하지 않은 건전부에서는 발청, 부풀음 등의 열화현상은 관찰되지 않았다. 동일한 부식환경에서 무기징크 하도인 경우 (UZ-B, CZ-B, PZ-B, FZ-B)에는 상도의 종류에 무관하게 유사한 거동을 나타내었다.

2.4 노화면적 측정결과

강교량에 적용된 도막의 사용수명을 예측하기 위해서는 도막의 노화도 곡선의 산출이 선행되어야 한다. 도막의 노화는 녹, 부풀음, 박리, 균열, 백화화 등의 단독 또는 복합적으로 발생되며, 국내외의 강교량의 점검을 통한 노화도 곡선에 대한 연구결과는 2차곡선 또는 지수곡선을 사용하여 제시되고 있다(Fujiwara and Miyake, 2001; Lee, 2015).

외관검사를 통한 도막의 내구성 평가의 항목은 일반적으로 KS M ISO 4628의 기준에 따라 녹, 박리, 균열, 변퇴색의 4가지 항목을 통하여 도막의 열화를 분석하게 된다. 본 연구에서는 전자현미경을 통하여 시간경과에 따른 각 시험체의 노화면적을 측정하였다. 식 (1)을 이용하여 도장계별 초기노화 면적 크기별에 대한 노화면적과 부식사이클과의 상관관계를 Fig. 4와 Table 2에 나타내었다. 초기결함 크기가 클수록 노화면적의 증가속도는 빠르게 나타났다. 여기서, DA는 도막의 노화면적(mm²), A와B는 상수, t는 부식촉진사이클이다.

$$D_A = A \cdot e^{B \cdot t} \quad (1)$$

Table 2 Coating system of specimens

Coating type	Initial coating defect	Coefficient		
		A	B	R
UZ-B	φ0.5	0.262	0.148	0.88
	φ1.0	2.254	0.140	0.96
	φ3.0	9.336	0.123	0.99
	φ5.0	25.931	0.106	0.99
CZ-B	φ0.5	0.362	0.147	0.98
	φ1.0	1.870	0.145	0.97
	φ3.0	10.673	0.130	0.96
	φ5.0	26.0	0.098	0.97
PZ-B	φ0.5	0.578	0.124	0.95
	φ1.0	4.121	0.109	0.89
	φ3.0	12.681	0.123	0.96
FZ-B	φ5.0	23.0	0.114	0.99
	φ0.5	0.678	0.117	0.92
	φ1.0	1.960	0.143	0.98
	φ3.0	10.720	0.151	0.98
	φ5.0	31.473	0.106	0.96

동일 도장계에서 초기결함 면적 크기에 따라 노화속도는 다르게 나타났으며, 초기결함 면적 크기가 클수록 시간경과에 따른 노화속도는 점점 증가하였다. 또한 상대적으로 초기결함 크기가 작은 0.5 mm와 1.0 mm의 경우, 상도의 종류에 무관하게 유사한 거동을 나타내었다. 하지만 초기결함 크기가 3.0 mm와 5.0 mm인 경우, 상도의 종류에 따라 노화진전 속도는 다르게 나타났다. 상기와 같은 결과는 상도의 도장계 특성과 건조도막 두께의 영향으로 판단된다.

3. 촉진배율을 고려한 도장계별 노화도 곡선 및 사용수명

3.1 도장계별 노화곡선 산출

열도장계별 노화시험 결과 초기결함의 크기 및 녹 발생면

적(양극 영역)에 따라 부식속도가 다르게 나타났으며, 일정시간 이후 결함의 크기 및 녹 발생면적이 급격하게 증가하였다. 본 연구에서는 결함 크기별 부식속도를 고려하여 노화예측 곡선을 산출하였다. 노화예측 곡선의 산출방법은 ① 초기 결함 크기별로 분류하여 열화 면적의 증가에 따른 과정을 구성

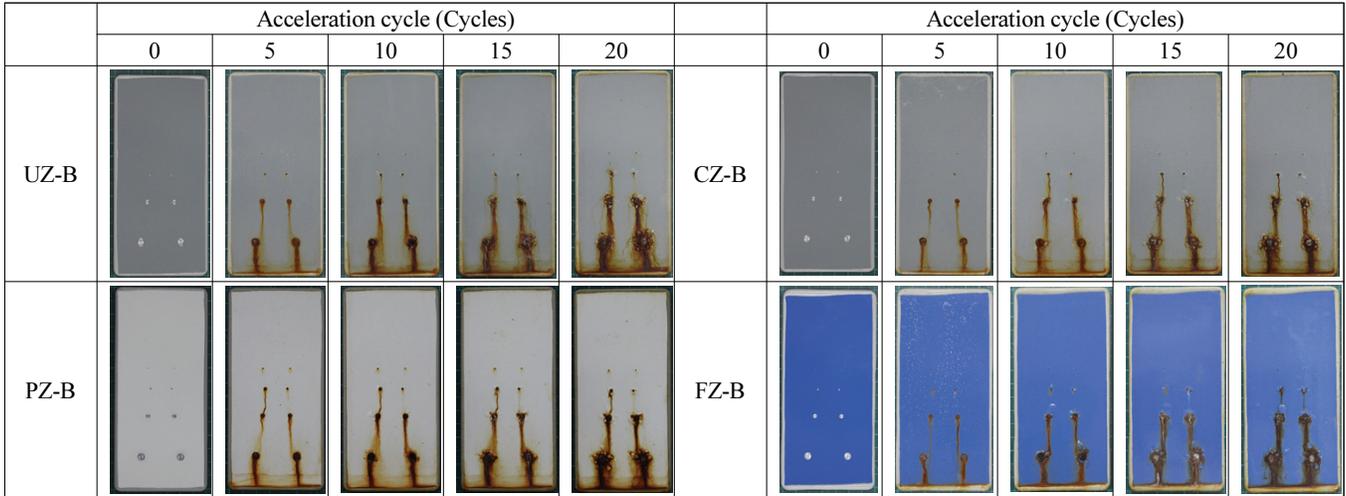
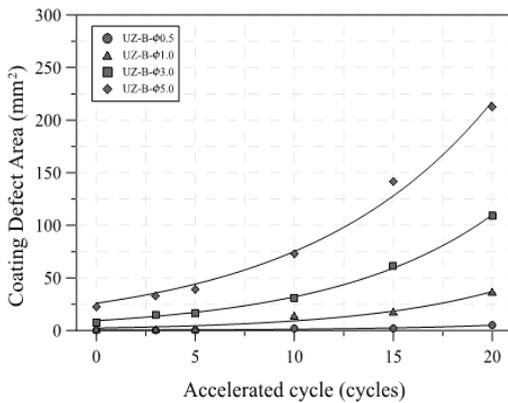
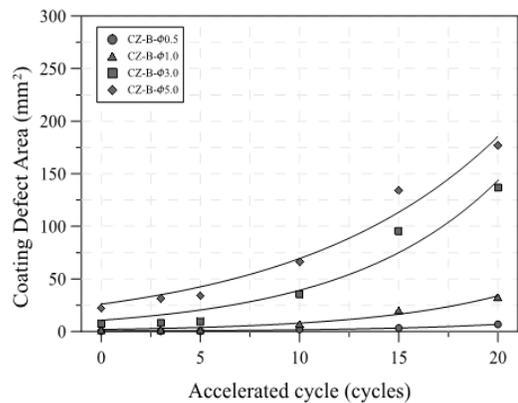


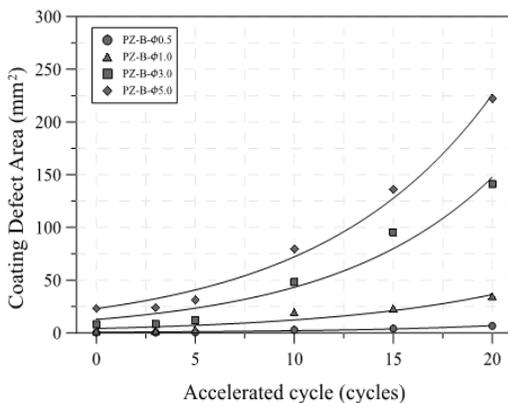
Fig. 3 Coating defect area depending on coating type



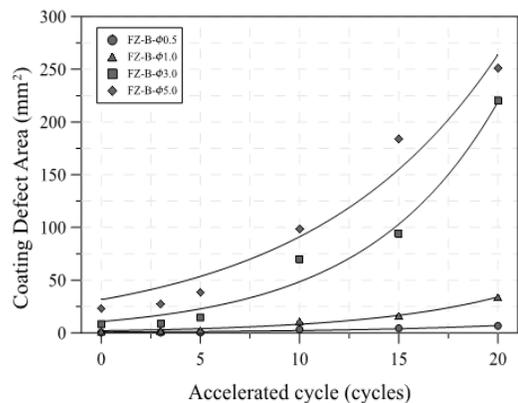
(a) Urethane coating



(b) Ceramic coating



(c) Polysiloxane coating



(d) Fluorocarbon coating

Fig. 4 Coating defect area depending on coating defect size of coating type

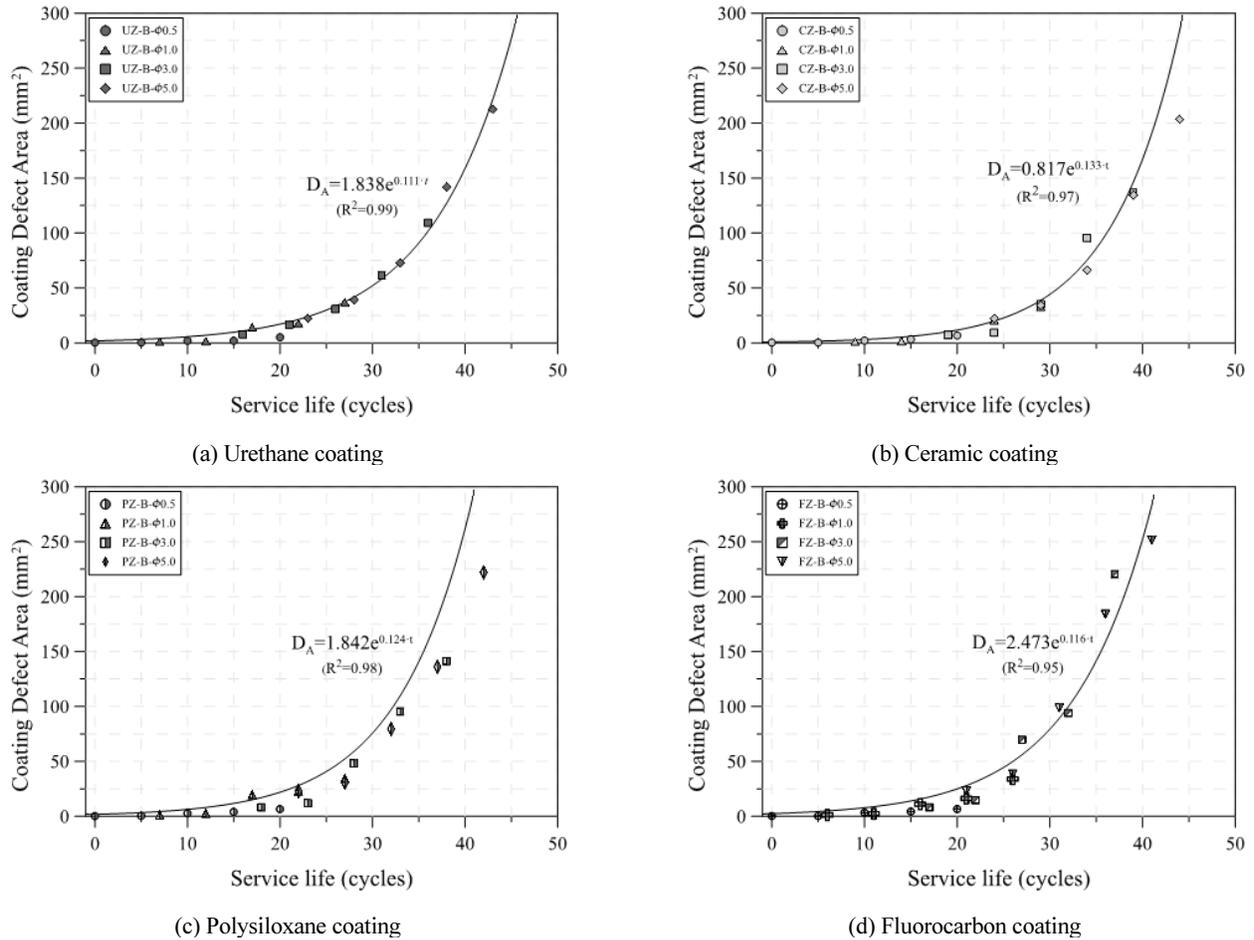


Fig. 5 Relationship and service life(acceleration cycle) and coating defect area

하고, ② 직경 0.5mm, 1mm, 3mm, 5mm의 초기 결함으로부터 측정된 모든 열화 면적이 그 이상의 결함 크기 면적에 도달하게 되면 0.5mm 결함의 초기 면적으로부터 점차 증가하는 과정으로 재구성할 수 있다. 즉 모든 결함의 열화 면적을 직경 0.5mm 하나의 결함에서 시간에 따라 증가하는 과정으로 조합하는 것이며, 부식축진 사이클과 노화면적과의 관계를 Fig. 5에 나타내었다. 또한 식(1)을 이용하여 각 도장계별 시간경과에 따른 노화곡선을 산출하였다. 각 도장계별 부식축진 사이클과 노화면적과의 상관계수는 0.95 이상으로 높게 나타났으며, 약 20 사이클이 이후 노화면적이 급격하게 증가하는 것으로 나타났다.

3.2 축진배율 산정

혹독한 부식 환경을 모사한 실내 실험의 결과를 실제 대기 환경에 직접적으로 적용하기 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 실제교량 가설지역에서의 부식속도와 부식성 등급과 실내 부식실험을 통하여 산출된 무도장 강재의 부식속도를 이용하여 축진 배율을 산출하였다. 축진 배율이란 실내 부식실

험 조건이 대기의 부식 환경에 비하여 부식속도의 비를 나타내고 있으며, 실내 부식실험의 실험기간을 실제교량 가설지역에서의 노출기간으로 환산가능하다. 또한 실내부식 실험에서도 총 9개의 시험체에 대하여 축진사이클에 따른 평균부식 두께를 산출하였다. 평균부식두께는 중량감소법으로 측정하였으며, 실내실험을 통하여 산출된 부식속도와 대기부식성 등급의 부식속도를 Fig. 6에 나타내었다. 축진배율은 식 (2) 과 같이 각각의 회귀곡선의 기울기의 비로 산출하였다.

$$Ac = \frac{\text{corrosion rate of acceleration corrosion test}}{\text{corrosion rate of corrosion category}} \quad (2)$$

한국도로공사 보고서(Cheong, 2002) 에 따르면 강교 주변의 대기부식성을 평가하기 위하여 고속도로상의 총 31개 교량에 대하여 부식속도를 측정하였으며, Fig. 7과 Table 3에 부식환경, 부식성 등급 및 실내축진실험과의 축진배율을 정리하여 나타내었다. 해양환경에 노출된 교량의 경우, 대기환경의 분류기준에 따른 부식성 등급은 C4(산업지대 및 염분농도가 중간인 해안지대)로 나타났다. 도시, 전원지역, 산간지역,

산업지대에서의 부식성 등급은 C3 또는 C2로 평가 되었다. 하지만 동일한 부식성 등급에서의 부식속도는 상이하였으며, 부식속도는 해양환경, 산업지대, 도시, 산간지역, 전원지역 순으로 감소하였다.

3.3 도막 사용수명 예측

일본 도료공업회(Japan Paint Manufacturers Association, 2013)의 중방식 도료 가이드북에 따르면 극심한 부식환경에 도막의 소모가 발생하기까지의 기간은 없는 것으로 제안하고 있다. 하지만 일본 교량건설협회(Japan Bridge Association Inc., 2006)의 교량기술자를 위한 도장 가이드북에서는 극심한 부식환경에서는 도막의 소모가 발생하는 기간을 각 도장

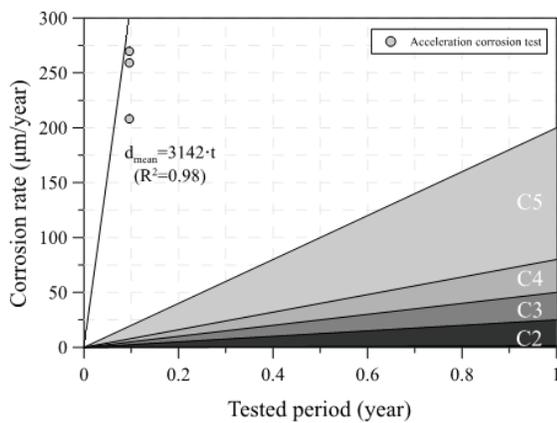


Fig. 6 Comparison of corrosion rate depending on acceleration corrosion test and corrosion category

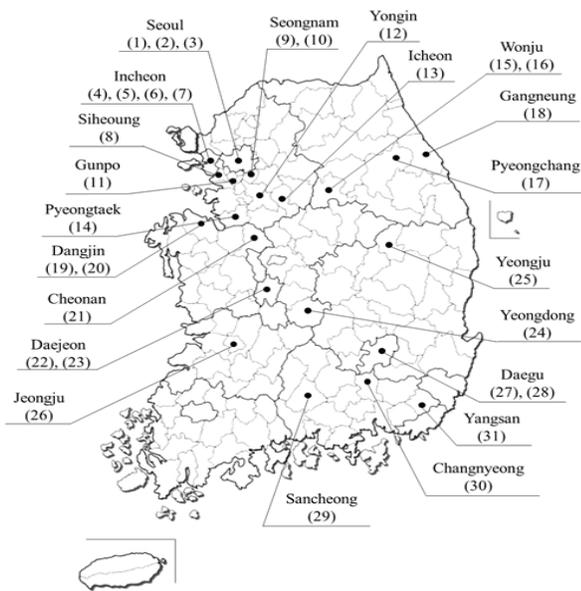


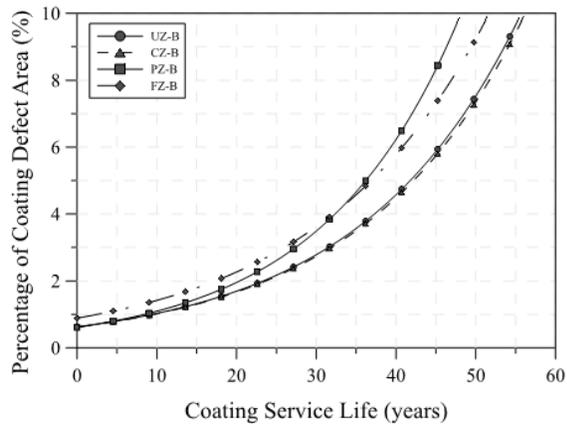
Fig. 7 Measurement location of corrosion rate (Cheong, 2002)

Table 3 Summary of corrosion category and acceleration factor depending on corrosion environment(Cheong, 2002)

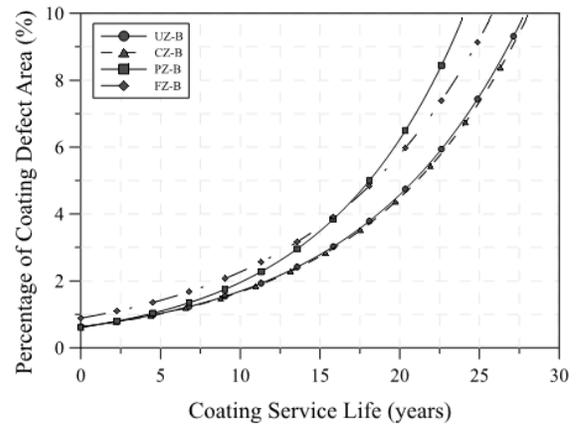
No.	Corrosion environment	Weight loss (g/m ²)	Corrosion category	Acceleration factor(Ac)
1	Urban	9.56	C3	62.84
2	Urban	11.33	C3	62.84
3	Urban	11.13	C3	62.84
4	Industrial	12.96	C3	62.84
5	Industrial	14.08	C3	62.84
6	Industrial	13.60	C3	62.84
7	Rural	11.33	C3	62.84
8	Rural	9.48	C3	62.84
9	Rural	7.04	C3	62.84
10	Urban	3.00	C2	125.7
11	Marine	15.35	C4	39.28
12	Urban	5.62	C3	62.84
13	Montane	6.28	C3	62.84
14	Rural	6.84	C3	62.84
15	Montane	1.22	C2	125.7
16	Montane	7.95	C3	62.84
17	Montane	7.22	C3	62.84
18	Montane	6.45	C3	62.84
19	Marine	10.19	C3	62.84
20	Marine	17.59	C4	39.28
21	Rural	3.89	C2	125.7
22	Industrial	4.17	C2	125.7
23	Urban	6.79	C3	62.84
24	Rural	2.67	C2	125.7
25	Rural	4.65	C2	125.7
26	Urban	14.08	C3	62.84
27	Urban	6.86	C3	62.84
28	Rural	2.74	C2	125.7
29	Montane	9.89	C3	62.84
30	Industrial	2.57	C2	125.7
31	Marine	12.25	C3	62.84

계별로 10~20년으로 제안하고 있다. 도막열화 조사방식에 대한 규정은 ASTM D610, ISO 4628-3, JSS IV03 등 다양한 방법이 적용되고 있다. 도막 수명에 대해서 명확한 정의의 등이 없으며 구조물 관리자와 도장(도료) 관계자에 따라 도막 수명의 판단 기준이 다르다. 일반적으로 강구조물의 1%가 부식되면 강도는 5~10% 감소되며, 5%이상의 녹이 발생된 경우에는 안전성에 문제가 발생할 수 있다고 알려져 왔다(Membrane Structures Association of Japan, 2012).

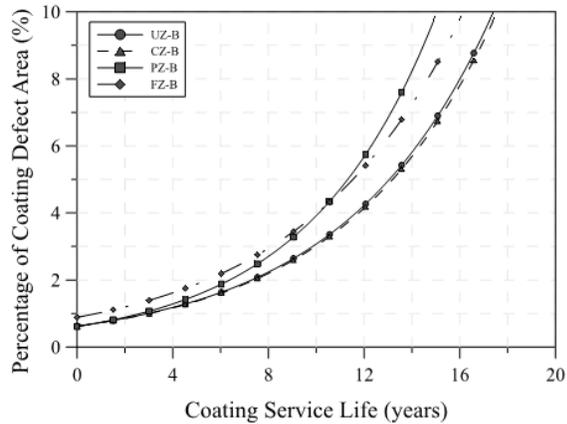
본 연구에서는 ASTM D 610의 일반적인 부식이 발생하는 것을 기준으로 하여 초기결함이 도입된 상태를 발생면적 0.03%(9등급)로 가정하여, 도막의 노화면적이 3.0%일 때를 사용수명으로 정의하였다. 각각의 도장계별 노화면적과 촉진 배율을 고려한 도막의 사용수명과 부식 발생면적과의 관계를



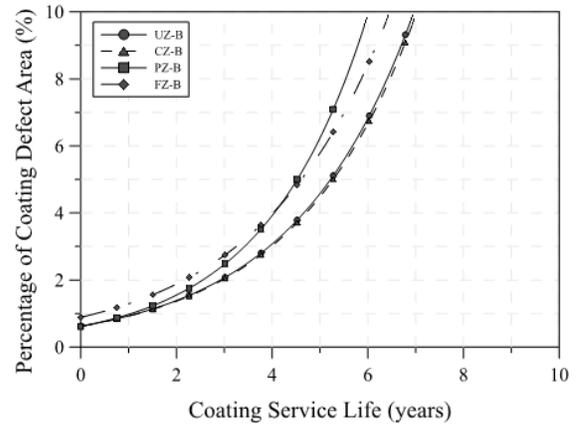
(a) Corrosion category C2



(b) Corrosion category C3



(c) Corrosion category C4



(d) Corrosion category C5

Fig. 8 Coating service life of coating type depending corrosion category

Table 4 Summary of coating service life depending on corrosion environment

Coating type	Coating service life (year)				Lee, 2015
	C2	C3	C4	C5	
UZ-B	31.8	15.8	9.9	3.9	26.6
CZ-B	32	16.0	10.0	4.0	26.0
PZ-B	26.3	13.8	8.5	3.5	28.6
FZ-B	26.0	13.0	8.0	3.2	30.3

Fig. 8에 나타내었으며, 사용수명 예측 결과를 Table 4에 정리하여 나타내었다.

일반적으로 불소수지는 탄소원자와 불소원자 간에 결합에너지가 유기화합물 중에서 가장 크며, 자외선(UV), 대기오염, 산성비 등의 문제에 대하여 20년 이상의 내구성을 나타낸다고 알려져 있다. 하지만 실험결과 불소수지 상도의 경우가 상대적으로 빠르게 열화가 진행되었으며, 자외선의 높은 에너지를 가지며 안료에 흡수하게 된다. 따라서 원자간 결합 에너지의 약한 부분이 분리되고, 열에너지로 변환되어 화학 변화를 촉진한 것으로 판단된다. 세라믹수지는 내후성, 방청성, 내

구성 등의 여러 기능면에서 장점을 가지며, 다른 도료에 비하여 연성능력이 떨어져 외부에 의한 충격에 약한 단점을 가지고 있지만 실내부식환경에서 가장 긴 내구수명을 나타내었다. 그리고 하도 및 중도가 동일하며, 상도만 다른 종류의 도장계를 적용한 경우의 사용수명은 불소수지, 폴리실록산수지, 우레탄수지, 세라믹수지 순으로 증가하였다. 하지만 본 연구에서 평가된 도장계의 사용수명은 초기결함이 도입한 후 도장계의 수명을 평가함에 따라 실제 열화환경에서 나타날 수 있는 도장계의 사용수명과는 차이가 발생할 수 있으므로 본 연구에서 평가된 도장계의 사용수명 분석을 통하여 환경에 따른 상대적인 도장계의 사용수명 수준 등을 판단하는 자료로 활용하는 것이 합리적일 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 국내에서 강교량에 적용되고 있는 도장계를 대상으로 극화환경을 모사한 부식촉진실험을 실시하여 부식

성 등급에 따른 도장계별 사용수명을 예측하였다. 그 결과 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 도막 외관의 비교결과, 상도 및 하도의 종류와 특성에 관계없이 초기결함을 도입한 부위에서만 도막열화가 진행되었으며, 초기결함을 도입하지 않은 건전부에서는 발청, 부풀음 등의 열화현상은 관찰되지 않았다.
- (2) 동일 도장계에서 초기결함 면적 크기에 따라 노화속도는 다르게 나타났으며, 초기결함 면적 크기가 클수록 시간경과에 따른 노화속도는 점점 증가하였다. 또한 상대적으로 초기결함 크기가 작은 0.5 mm와 1.0 mm의 경우, 상도의 종류에 무관하게 유사한 거동을 나타내었다. 하지만 초기결함 크기가 3.0 mm와 5.0 mm인 경우, 상도의 종류에 따라 노화진전 속도는 다르게 나타났다. 상기와 같은 결과는 상도의 도장계 특성과 건조도막 두께의 영향으로 판단된다.
- (3) 실제교량 가설지역에서의 부식속도와 부식성 등급과 실내 부식실험을 통하여 산출된 무도장 강재의 부식속도를 이용하여 축진 배율을 산출하였다. 축진배율을 이용하여 실내 부식실험의 실험기간을 실제교량 가설 지역에서의 노출기간으로 환산가능하다.
- (4) ASTM D 610을 기준으로 하여 초기결함이 도입된 상태를 발생면적 0.03%(9등급)로 가정하여, 도막의 노화면적이 3.0%일 때를 사용수명으로 정의하였다. 또한 각각의 도장계별 노화면적과 축진배율을 고려한 도막의 사용수명을 예측하였다. 또한 본 연구에서의 도장계별 사용수명 예측결과는 한국도로공사의 연구보고서의 열악한 환경에서 도장계별 예측 수명과 유사하게 나타났다. 실제 교량의 노화도 평가결과(Lee, 2015)에 기초한 사용수명과의 비교결과, 불소도장계를 제외하고 국내의 대기부식환경을 고려한 C2~C3등급의 사용수명과 유사하게 나타났다.

본 연구에서 이용된 복합부식사이클 실험 이외의 실내의 실험을 통한 부식성 등급에 대한 축진배율 산출 등의 데이터 축척 및 도막 노화모델의 신뢰도 향상 통하여 공용중인 강교량과 강구조물의 보수시기 산정 등을 위한 도장계 선정과 재도장 주기를 결정하기 위한 유지관리의 기초자료로 사용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2016년 한국남동발전 현장기술연구개발 연구와 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (NRF-2017R1D1A1B03028755)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- ASTM B117-1 (2016), Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, ASTM International.
- Cheong, H.M., and Lee, C.Y. (2002) Environmentally Friendly Maintenance Coating of Steel Bridge, Final Report, Korea Expressway Corporation Research Institute.
- Lee, C. Y. (2010), Present Condition of Steel Bridge Coating in Korean Highway, Magazine of Korean Society of Steel Construction, 22(5), 9-12.
- Lee, C. Y., Cheong, H. M., and Kim, O. S. (2004), Construction of Paint Film Diagnosing System for Effective Maintenance of Steel Bridges, Journal of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, JKSMI, 8(3), 41-51.
- Lee, C.Y., Cheong, H.M., and Chang, T.S. (2015) A Study on Application of High Performance Coatings for Service Life Extension of Steel Bridge Coatings, 2015-46-534.9607, Final Report, Korea Expressway Corporation Research Institute.
- Lee, C. Y., and Chang, T. S. (2016), Service Life Prediction for Steel Bridge Coatings with Type of Coating Systems, Journal of Korean Society of Steel Construction, 28(5), 325-335.
- Membrane Structures Association of Japan (2012), Evaluation manual of deterioration for member of Membrane Structures, Membrane Structures Association of Japan, Tokyo, 13-14.
- Nicolai, R. P., Dekker, R., and Noortwijk, J. M. (2007), A Comparison of Models for Measurable Deterioration: An Application to Coatings on Steel Structures, Reliability Engineering & System Safety, 92(12), 1635-1650.
- NORSOK M501 (2004), Surface Preparation and Protective Coating, Norsok Standard.
- ISO 11507-07 (2007), Paints and Varnishes - Exposure of Coatings to Artificial Weathering, International Organization for Standardization.
- ISO 20340-09(2009), Paints and Varnishes - Performance Requirements for Protective Paint Systems for Offshore and Related Structures, International Organization for Standardization.
- ISO 9227-17, Corrosion Tests in Artificial Atmospheres - Salt Spray Tests, International Organization for Standardization 2017.
- Japan Bridge Association (2006), Painting guidebook for bridge engineers, Japan Bridge Association, Tokyo, 67.
- Japan Society of Civil Engineers (2014), Design Methods and Examples for Repair and Rehabilitation of Corrosion Damaged Steel Structures, JSCE, 130-138.
- Japan Paint Manufactures Association (2013), Heavy Duty Coating Guide Book, Japan Paint Manufactures Association, Tokyo, pp. 154-168.
- KS D9502-09, Method for Salt Spray Test(Neutral Salt, Acetic Acid and Copper Accelerated Acetic Spray Test), Korean Standard 2009.
- Kainuma, S. (2017), Current Status and Issues of Corrosion Damage in Steel Highway Bridges, Magazine of Korea Institute for Structural

Maintenance and Inspection, KSMI, 18(3), 12-17.

Fujiwara, H., and Miyake, M. (2002), Quantitative Analysis on Deterioration and Remaining Life of Steel Bridge Painting based on Field Data, Journal of Japan Society of Civil Engineers, 696, 111-123.

Received : 11/22/2018

Revised : 12/23/2018

Accepted : 01/27/2019

요 지 : 본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 우레탄계, 세라믹계, 폴리실록산계 및 불소수지계 강교량용 도장계를 대상으로 실내 부식 실험을 실시하여 도장계별 노화모델을 도출하였다. 상도를 구분하여 각 도장계별로 시험편을 제작하였으며, 직경 0.5, 1, 3, 5 mm의 원형 결함을 도입하였다. ISO 20340를 이용하여 극한환경을 모사한 부식촉진실험을 실시하였다. 도장계별 노화곡선은 원형결함의 노화면적을 기준으로 평가되었다. 노화곡선을 사용하여 공용중인 강교의 도장 사용수명을 평가하기 위하여 촉진배율을 산출하였으며, 촉진배율은 ISO 20340과 ISO 9223의 대기환경 부식속도를 기준으로 산출되었다. 실험결과, 노화진전속도는 원형결함의 크기와 상관없이 증가하였으며, 노화면적이 3%일 때 우레탄 도장계의 노화수명은 C2, C3, C4 및 C5 등급에서 약 31.8, 15.8, 9.9 및 3.9년으로 평가되었다.

핵심용어 : 노화곡선, 부식촉진실험, 강교 도장, 촉진배율, 사용수명
