

강교 도장의 열화도 평가 정량화

Quantification of Deterioration Degree Evaluation for Steel Bridge Coatings



이 찬 영^{1)*}

Lee, Chan Young



김 유 식²⁾

Kim, Yu Sik

1. 서론

일반적으로 강교 도장의 재도장 시기를 판단하는 도막조사는 주로 전문가에 의한 육안 관찰을 통해 이루어지기 때문에 도장·도로에 관한 지식이나 경험의 유무에 따라 판정 결과에 개인 오차가 발생하게 된다. 또한 정확한 진단을 행할 수 있는 전문인력의 절대 부족으로 인해 현재 강교 도장 상태에 관한 객관적, 정량적, 과학적 평가의 수행을 통한, 적절한 재도장 시기의 판단이 어려운 형편이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 2006년에 화상처리기술을 이용하여 도막의 열화도 및 적절한 재도장 시기를 객관적, 정량적으로 판단할 수 있는 도막진단시스템을 개발하였으며, 2009년부터 본격적으로 실용화되었다.

그러나 도막진단시스템의 도막 열화도 평가 기준은 기존의 육안평가 방식에서 사용하던 기준을 그대로 사용하고 있기 때문에 다소 주관적인 부분이 여전히 존재하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 도막진단시스템의 최적보수시기, 최적보수범위 등의 판단능력향상을 통해 시스템의 활용도를 증진시키고자 도장상태 평가기준 개선에 관한 연구를 수행하였다.

2. 기존 시스템에 대한 검토

2.1 열화도 평가기준

기존의 도막진단시스템에서 개별 화상에 대해 검출하는 열화의 종류는 녹과 박리이며, 열화 면적율에 따라 녹은 최대 40점, 박리는 최대 30점까지 평점을 부여하도록 되어 있다(Table 1). 이 녹과 박리에 대한 배점은 과거에 사용하던 육안평가 기준을 그대로 사용한 것으로서 개별화

1) 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, 공학박사

2) 한국도로공사 구조물처 처장

* E-mail : leecy@ex.co.kr

Table 1 기존 시스템의 도막열화도 평가 기준

평가항목	녹		박리		체킹		쇼킹		경관조건		
열화 예											
항목별 평가	평점	면적율 (%)	평점	면적율 (%)	평점	상황	평점	상황	평점	환경	경관 중요도
	40	3 이상	30	33 이상	10	심함	10	심함	10	공장, 도시	중요
	30	1~3	24	17~33	5	보통	5	보통	8	해상, 해안	중요
	20	0.3~1	18	10~17	0	없음	0	없음	6	전원, 산간	중요
	10	0.1~0.3	12	3~10					4	공장, 도시	보통
	0	0.1 미만	6	3 미만					2	해상, 해안	보통
		0	이상없음					0	전원, 산간	보통	
종합 평가	평균평점		70~100		40~70		20~40		20 미만		
	보수도장 판정		긴급한 보수도장 필요		차년도 보수계획에 반영		적당한 시기에 보수도장(주의 깊은 관찰 요망)		현재 보수도장 필요 없음		

상에 대한 평점을 합산하여 교량 전체의 열화도 평점을 매기는 현재의 방법에 다소 적합하지 않다. 또한 특정 면적율 구간 내에서 평점이 일정하도록 되어 있는 계단식 증가 방식이어서 평가 결과의 신뢰도 향상을 위해서는 연속적 증가 방식으로 수정할 필요가 있다고 판단된다. 또한, 경관조건 항목은 교량주변 환경 및 경관 중요도에 따라 0~10점을 부여하도록 되어 있는데, 평가자의 주관에 따라 편차가 커질 수 있다는 단점이 있다.

화상처리기법을 이용한 도막상태 평가는 개별 열화부의 열화 면적율을 정량화할 수 있다는 장점이 있으며, 이러한 장점을 최대한 살리기 위해서는 개별 열화부 뿐만 아니라 평가대상 교량의 전체 열화등급을 산정할 때에도 어느 정도 정량화할 수 있는 기준이 필요하다. 과거의 연구에서는 화상처리기법에 의한 도막 평가시 개별 열화부에 대한 평점으로부터 교량 전체의 열화 등급을 도출하기에 적합한 방법에 대해 고찰하고 최적화된 기준을 수립하고, 현장적용을 통해 적정

성을 검증한 바 있다.

2.2 조사방식

강교 거더의 모든 도장면을 조사하여 촬영하는 것이 가장 이상적이나 실제 점검인력이 부족함을 감안하면 지나치게 많은 시간과 노력이 소요되므로 최소 필요 부위만 촬영하는 것이 적절하다. 따라서 대표 경간을 선정하여 촬영하되 현장 여건에 따라서 전수조사 또는 표본조사 중 하나의 방법을 선택하도록 조사방식이 분류되어 있다. 전수조사는 대표경간을 1~2경간 선택하여 모든 열화부 촬영하는 방식으로서 열화부가 적거나 경간장이 짧을 경우 적합하고, 표본조사는 대표경간(1~2개) 내에서 열화도(높음, 보통, 낮음)에 따라 경간별로 약 3부위씩 선택 촬영하는 방식으로서 열화부가 많거나 교량 규모가 클 경우 및 경간별 열화도가 유사할 경우에 적합하다.

그러나 기존의 기준 중 표본조사의 경우는 촬영해야하는 사진의 수가 지나치게 적고, 열화도

(높음, 보통, 낮음)를 판단할 때 평가자의 주관에 따라 편차가 커질 수 있다는 단점을 안고 있다.

2.3 열화부 판정

사진촬영의 대상이 되는 열화부의 판정을 용이하게 하고 구조물 전반에 대한 열화 면적을 계산을 용이하게 하기 위해 「단위색선」 개념이 도입되어 있다. 단위색선은 하부플랜지 폭 또는 웹 높이를 한변으로 하는 정사각형으로 정의된다. Fig. 1은 실제 교량(경부선 진위천교)의 플랜지 밑면을 평면으로 나타낸 것인데, 그림에서 보이는 각각의 정사각형이 단위색선이다.

단위색선 설정범위는 일반적으로 열화가 가장 집중되는 하부플랜지에 국한하는 경우와 웹 부위까지 포함하는 경우, 2가지로 구분되어 있다. 이 때 총 단위색선 수(N_{us})는 단위색선 설정범위가 하부플랜지에 국한될 경우는 식 (1)에 따라, 단위색선 설정범위가 하부플랜지와 웹까지 포함되는 경우는 식 (2)에 따라 간단히 계산된다.

$$N_{us} = \frac{l}{w} N_g \quad (1)$$

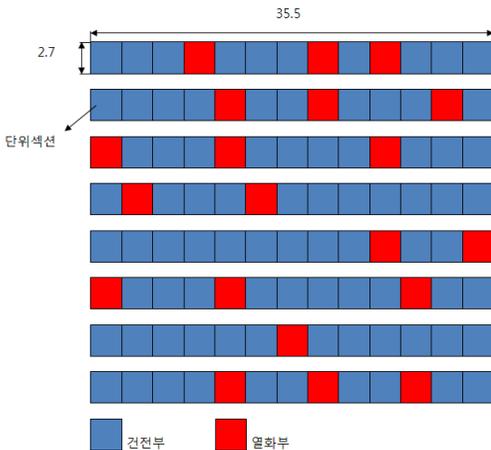


Fig. 1 단위색선의 정의

$$N_{us} = \left(\frac{l}{w} + \frac{2l}{h}\right) N_g \quad (2)$$

여기서, N_{us} : 총 단위색선 수
 l : 경간의 길이
 w : 하부플랜지 폭
 h : 웹의 높이
 N_g : 거더의 수

육안으로 녹, 박리 등의 주요 열화현상이 발생한 단위색선을 열화색선으로 하였을 때, 총 단위색선 중 열화색선이 차지하는 비율을 계산하여 대략적인 열화정도를 파악한다. 개별 항목에 대한 평가가 완료되면 식 (3) 및 식 (4)에 따라 종합평점 및 종합손상면적을 산출한다.

$$P_{tot} = \frac{r_i(P_{rust,i} + P_{peel,i}) + r_j(P_{rust,j} + P_{peel,j})}{r_i + r_j} + P_{chec} + P_{chalk} + P_{sight} \quad (3)$$

여기서, P_{tot} : 종합평점
 $P_{rust,i}$: i번째 경간의 녹평점
 $P_{rust,j}$: j번째 경간의 녹평점
 $P_{peel,i}$: i번째 경간의 박리평점
 $P_{peel,j}$: j번째 경간의 박리평점
 P_{chec} : 체크평점
 P_{chalk} : 초킹평점
 P_{sight} : 경관조건평점
 r_i : i번째 경간이 대표하는 경간 수
 r_j : j번째 경간이 대표하는 경간 수

$$A_{tot} = \frac{r_i(A_{rust,i} + A_{peel,i})D_i + r_j(A_{rust,j} + A_{peel,j})D_j}{100(r_i + r_j)} \quad (4)$$

여기서, A_{tot} : 종합손상면적을
 $A_{rust,i}$: i번째 경간의 평균 녹면적을
 $A_{rust,j}$: j번째 경간의 평균 녹면적을

- $A_{peel,i}$: i번째 경간의 평균 박리면적을
- $A_{peel,j}$: j번째 경간의 평균 박리면적을
- D_i : i번째 경간의 열화색션 비율
- D_j : j번째 경간의 열화색션 비율
- r_i : i번째 경간이 대표하는 경간 수
- r_j : j번째 경간이 대표하는 경간 수

2.4 기존 시스템의 문제점 분석

기존 시스템에 대해 조사 및 분석을 실시해 본 결과 다음과 같은 문제점들을 발견할 수 있었다.

- (1) 녹과 박리에 대한 배점은 과거에 사용하던 육안평가 기준을 그대로 사용한 것으로서 개별화상에 대한 평점을 합산하여 교량 전체의 열화도 평점을 매기는 현재의 방법에서는 배점을 증가시킬 필요가 있다.
- (2) 특정 면적을 구간 내에서 평점이 일정하도록 되어 있는 계단식 증가 방식이어서 평가 결과의 신뢰도 향상을 위해서는 연속적 증가 방식으로 수정할 필요가 있다.
- (3) 경관조건 항목은 교량주변 환경 및 경관 중요도에 따라 0~10점을 부여하도록 되어 있는데, 평가자의 주관에 따라 편차가 커질 수 있다는 단점이 있다.
- (4) 기존의 조사방식 분류 기준 중 표본조사의 경우는 촬영해야 하는 사진의 수가 지나치게 적고, 열화도(높음, 보통, 낮음)를 판단할 때 평가자의 주관에 따라 편차가 커질 수 있다는 단점을 안고 있다.
- (5) 기존의 도막수명예측식은 과거 육안평가에 의한 조사결과를 바탕으로 분석된 결과이므로 현재의 기준에 맞도록 수정이 필요하다.
- (6) 기존에 사용되었던 도장계 중 수용성 무기징크는 재료의 특성상 박리, 체킹, 쇼킹

이 거의 발생하지 않으며, 타 도장계가 3층 도장인 것에 반해 1층 도장(single coat)이어서 가중치를 둘 필요가 있다.

3. 도막열화도 평가기준 개선

3.1 개별 화상에 대한 평가기준 개선

평가항목 중 가장 중요한 항목인 녹, 박리는 열화면적율에 따라 평점을 부여하는데, 과거에 육안으로만 평가하던 시절에는 정확한 면적율을 산정하기 어려웠기 때문에 면적율 구간을 정하여 그 구간 내에서는 동일한 평점을 부여하도록 되어 있었다. 이를 연속적 증가 방식으로 전환하기 위하여 계단 모양의 꼭지점을 기준으로 하여 Boltzmann fit에 따라 회귀분석을 실시하였다. Boltzmann fit의 함수는 식 (5)와 같다.

$$y = A_2 + \frac{A_1 - A_2}{1 + \exp\left(\frac{x - x_0}{dx}\right)} \quad (5)$$

- 여기서, A_1 : 최초값(좌측 점근선)
- A_2 : 최종값(우측 점근선)
- x_0 : 중심(굴곡점)
- dx : 폭(y 값이 가장 크게 변하는 구간에 상응하는 x 값의 변화)

Fig. 2 및 Fig. 3에 각각 녹과 박리의 육안평가 기준에 대한 회귀분석 결과를 나타내었다. R^2 값이 녹에 대해 0.976, 박리에 대해 0.981로 나타나 육안평가 기준과 잘 부합하는 것을 확인할 수 있었다.

기존 시스템의 문제점 분석을 통해 녹, 박리의 배점이 지나치게 낮은 것으로 나타났으므로 이에 대한 보정이 필요하였다. 녹의 경우 40점 만

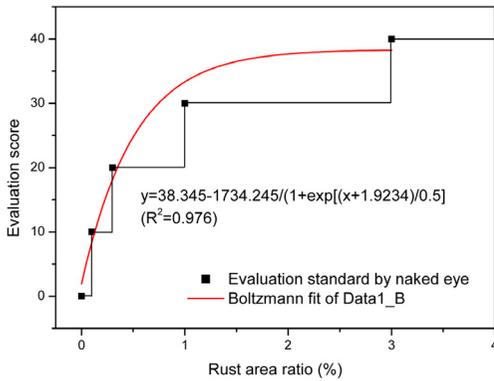


Fig. 2 녹의 육안평가 기준

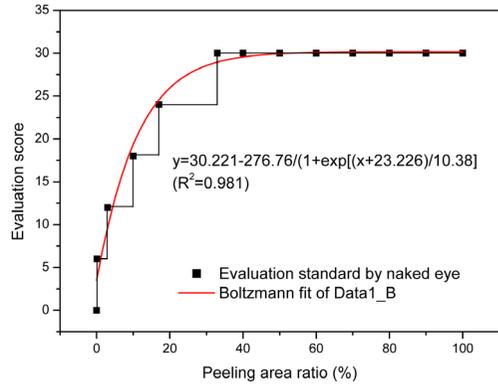


Fig. 3 박리의 육안평가 기준

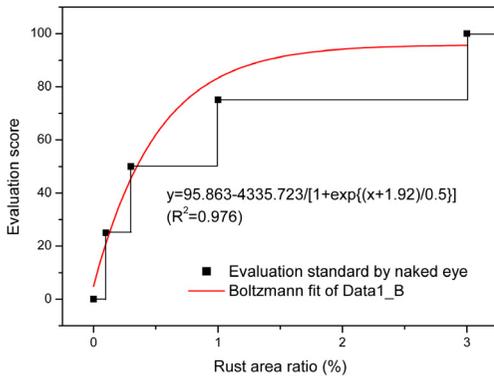


Fig. 4 녹의 육안평가 기준(100점 만점 환산)

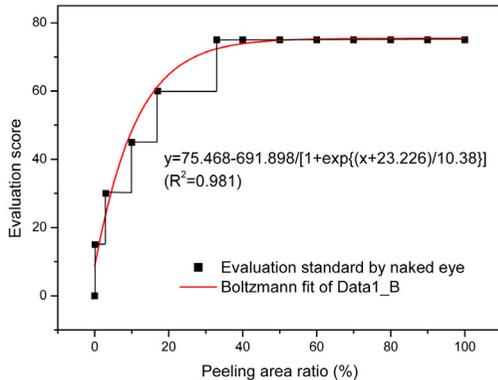


Fig. 5 박리의 육안평가 기준(75점 만점 환산)

점이었던 것을 100점 만점으로 환산하였고, 박리는 30점 만점이었던 것을 75점 만점으로 환산하였다. 환산된 좌표에서의 회귀분석 결과를 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었다. 분석결과 도출된 Boltzmann 식을 잠정적으로 평가기준식으로 정하고 평가기준식의 적정성 판단은 기존의 현장조사 결과와 추가 현장조사를 실시하여 평가해보기로 하였다.

3.2 현장조사를 통한 검증

3.2.1 조사방법

조사대상 교량은 총 39개 교량이며, 현장에서

촬영한 영상을 화상처리하여 녹과 박리의 면적율을 구하고, 회귀분석을 통하여 정한 잠정 평가기준식에 따라 녹, 박리의 평가점을 부여하였다. 평가기준식은 열화 면적률이 0일 때 평점이 0이 될 수 있도록 y절편을 추가하였다. 녹, 박리 이외의 항목 중 체킹 및 쇼킹은 기존의 기준을 유지하였고, 경관조건은 주관적인 요소이므로 제외하였다. 본 평가에 사용된 기준을 Table 2에 나타내었다.

3.2.2 조사결과 및 고찰

조사결과로부터 과거에 실시했던 육안평가에 의한 결과에 비해 데이터의 산포도가 크게 줄었

Table 2 개선된 도막열화도 평가 기준

평가항목	녹	박리	체킹		초킹	
			평점	상황	평점	상황
항목별 평가	$y=95.863-4335.723/[1+\exp\{(x+1.92)/0.5\}]-4.85$ 여기서, y : 녹 평점 x : 녹 면적을	$y=75.468-691.898/[1+\exp\{(x+23.226)/10.38\}]-8.75$ 여기서, y : 박리 평점 x : 박리 면적을	10	체킹이 심하여 원거리에서도 관찰됨.	10	초킹이 발생하여 도색을 확인할 수 없음.
			5	체킹이 발생하고 있으며, 근거리에서만 관찰됨.	5	초킹이 발생하였지만 도색은 판별할 수 있음.
			0	이상 없음	0	이상 없음

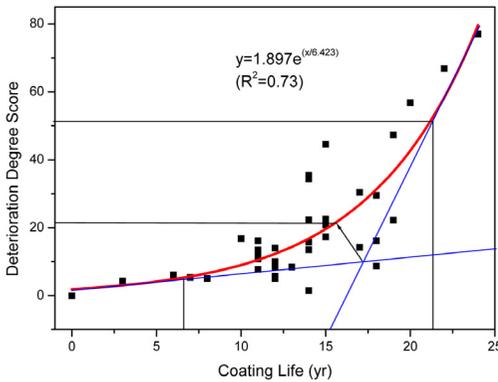


Fig. 6 강교 현장 도막열화도 평가 결과

고($R^2=0.73$), 과거보다 도장의 수명이 다소 길어진 것을 확인할 수 있었다(Fig. 6). 평가 결과에 대해 지수함수로 회귀분석을 실시한 결과 도장수명 예측식은 식 (6)과 같이 나타났다.

$$y = 1.897e^{x/6.423} \quad (6)$$

도장 수명 예측식의 변화 양상을 살펴보면 도장 후 약 7년까지는 거의 열화도의 증가가 없고, 7년 이후부터 서서히 증가율이 커지며, 약 15년

이후부터는 열화가 매우 가속화 된다. 열화도의 증가율이 최대가 되는 시기는 약 22.5년이었으며, 이 시기를 도장의 수명이 다하는 시기로 판단해도 좋다고 사료된다. 또한 열화가 가속화되는 15년에 상응하는 평점은 약 20점, 열화도의 증가율이 최대가 되는 22.5년에 상응하는 평점은 약 50점이었다. 따라서 열화도 평점 20점 이상이면 본격적으로 보수(부분보수 이상)를 해야 한다고 판단되며, 50점 이상이면 교량 전체 범위에 대해 보수를 해야 한다고 판단된다. 단, 평가결과에 상관없이 국부보수는 언제든지 해주는 것이 바람직하다고 판단된다.

Fig. 6으로부터 도출된 도막열화곡선을 기준 열화곡선으로 하여 최적의 시기에 보수도장을 실시할 수 있도록 기준열화곡선에 대한 상한식과 하한식을 도출하였다. 수명예측 상한식과 하한식은 회귀분석시 도출된 각 계수 A, t, B 의 오차값 $\delta A, \delta t, \delta B$ 를 가감하여 상한식은 식 (7), 하한식은 식 (8)과 같이 구하였다. 도출된 수명 예측식과 수명예측곡선을 Table 3과 Fig. 7에 각각 나타내었다.

Table 3 회귀분석에 의해 도출된 수명예측 상·하한식

일반식	회귀분석값			하한식	평균식	상한식
	Parameter	Value	Error (δ)			
$y = Ae^{\frac{x}{t}} + B$	A	1.89703	0.57158	$y = 1.325e^{\frac{x}{7.051}}$	$y = 1.897e^{\frac{x}{6.423}}$	$y = 2.469e^{\frac{x}{5.794}}$
	t	6.42252	0.62814			
	B	0	0			

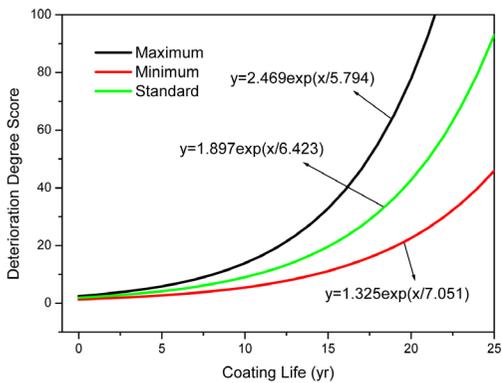


Fig. 7 회귀분석에 의해 도출된 수명예측 상·하한곡선

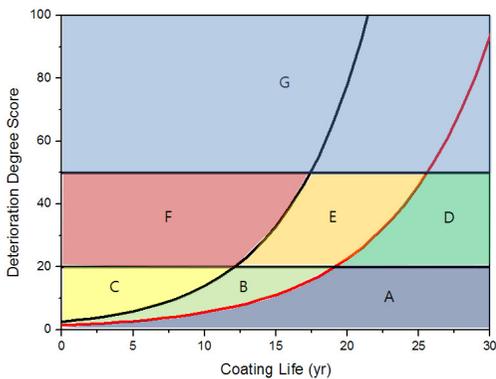


Fig. 8 적정 보수도장관리를 위한 영역 구분

$$y = (A + \delta_A)e^{\frac{x}{t - \delta_t}} + B + \delta_B \quad (7)$$

$$y = (A - \delta_A)e^{\frac{x}{t + \delta_t}} + B - \delta_B \quad (8)$$

회귀분석에 의해 도출된 상·하한곡선을 바탕으로 적정 보수도장 관리를 위하여 Fig. 8과 같이 도막의 상태에 따라 A~G 7개 부분으로 영역을 구분하였다. 영역 구분 경계는 수명예측 상·하한곡선, 열화도 평점 20 및 50점으로 하였다. 각각의 영역에 대하여 도막의 열화 상태 및 열화속도를 근거로 하여 Table 4와 같이 적정 보수시기를 예측할 수 있도록 관리 기준을 수립하였다.

Table 4 보수도장 판정 기준

영역	보수도장 판정
A	도장상태 양호하며, 열화속도가 느린 편이다.
B	도장상태 양호하며, 열화속도는 보통이다.
C	도장상태 양호하나 열화속도가 빠른 편이다.
D	열화속도가 느린 편이며, 보수계획 수립 필요하다.
E	열화속도는 보통이며, 보수계획 수립 필요하다.
F	열화속도가 빠른 편이며, 보수계획 수립 필요하다.
G	열화가 매우 심하고 도막의 수명이 다 되었다.

3.3 기타개선사항

3.3.1 주관적 요소 배제

기존의 평가항목 중 경관조건 항목이 있었는데, 교량의 공용환경과 미관의 중요도에 따라 평점을 부여하도록 되어 있었다. 즉, 주변환경이 공장 및 도시지역이며, 미관이 중요시되면 10점, 주변환경이 해상 및 해안지역이며, 미관이 중요시되면 8점, 주변환경이 전원 및 산간지역이며, 미관이 중요시되면 6점, 주변환경이 공장 및 도시지역이며, 미관이 중요시되지 않으면 4점, 주변환경이 해상 및 해안지역이며, 미관이 중요시되지 않으면 2점, 주변환경이 전원 및 산간지역이며, 미관이 중요시되지 않으면 0점을 부여한다. 그러나 주변환경을 명확하게 구분하기가 쉽지 않을뿐더러 미관의 중요성에 대한 판단도 지나치게 주관적이다. 또한, 강교 도장의 가장 중요한 역할은 부식 방지이고 미관적 역할은 부수적인 것이므로 굳이 평가기준 항목에 포함시킬 필요까지는 없다고 판단되었다.

3.3.2 조사방식 개선

기존의 조사방식 분류 기준 중 표본조사의 경우는 촬영해야 하는 사진의 수가 지나치게 적고, 열화도(높음, 보통, 낮음)를 판단할 때 평가자의 주관에 따라 편차가 커질 수 있다는 단점을 안고 있다. 따라서 조사방식은 대표경간 내의 모든 열

화색선을 촬영하는 전수조사 방식을 채택하는 것을 기본으로 하되, 촬영 부위가 너무 많아지는 경우에만 예외적으로 표본조사 방식에 따르는 것이 좋다고 판단된다. 특히 교량의 상부 형식이 SPG인 경우는 플랜지 밑면의 단위색선 크기가 작기 때문에 촬영 부위가 지나치게 많아지게 된다. 이러한 상황에서는 표본조사 방식이 적합하며, 다만 표본의 개수는 많을수록 신뢰도가 높아지므로 최소 표본 수를 정할 필요가 있다. 조사에 소요되는 시간과 신뢰도 항상 2가지를 모두 고려했을 때, 가장 적정하다고 판단되는 최소 표본 수는 30개 이상, 또는 총 열화색선 수의 30% 이상 정도라고 판단된다.

3.3.3 수용성 무기징크 도장에 대한 평가 개선 기준에 사용되었던 도장계 중 수용성 무기징크는 재료의 특성상 박리, 채킹, 쇼킹이 거의 발생하지 않으며, 타 도장계가 3층 도장인 것에 반해 1층 도장(single coat)이어서 가중치를 둘 필요가 있다. Fig. 9에 수용성 무기징크 이외의 도장계에 대한 도장 후 경과년수에 따른 종합평점 및 녹 이외의 평점 분포를 나타내었다. 녹 이외의 평점은 식 (9)와 같은 추세로 증가하였으므로 이에 상응하는 가중치를 둘 필요가 있다고

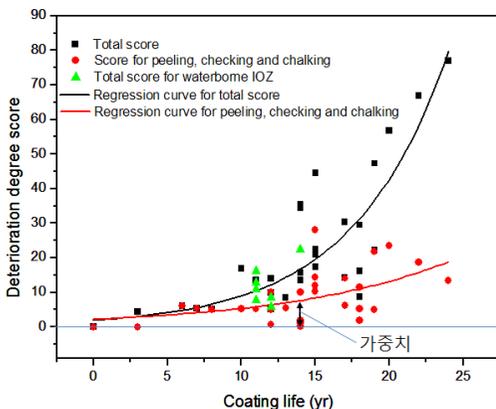


Fig. 9 종합평점 및 녹 이외의 평점 증가추세 비교

판단되었다.

$$y = 2.19\exp(x/11.17) \quad (9)$$

여기서, x : 도장 후 경과년수

y : 가중치

4. 결론

강교 도막진단시스템의 평가기준 개선에 대해 수행한 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 기존 시스템에 대해 조사 및 분석을 실시해 본 결과 다음과 같은 문제점들을 발견할 수 있었다.
 - 녹과 박리에 대한 배점은 과거에 사용하던 육안평가 기준을 그대로 사용한 것으로서 개별화상에 대한 평점을 합산하여 교량 전체의 열화도 평점을 매기는 현재의 방법에서는 배점을 증가시킬 필요가 있다.
 - 특정 면적을 구간 내에서 평점이 일정하도록 되어 있는 계단식 증가 방식이어서 평가 결과의 신뢰도 향상을 위해서는 연속적 증가 방식으로 수정할 필요가 있다.
 - 경관조건 항목은 교량주변 환경 및 경관 중요도에 따라 0~10점을 부여하도록 되어 있는데, 평가자의 주관에 따라 편차가 커질 수 있다는 단점이 있다.
 - 기존의 조사방식 분류 기준 중 표본조사의 경우는 촬영해야 하는 사진의 수가 지나치게 적고, 열화도(높음, 보통, 낮음)를 판단할 때 평가자의 주관에 따라 편차가 커질 수 있다는 단점을 안

고 있다.

- 기존의 도막수명예측식은 과거 육안평가에 의한 조사결과를 바탕으로 분석된 결과이므로 현재의 기준에 맞도록 수정이 필요하다.
 - 기준에 사용되었던 도장계 중 수용성 무기징크는 재료의 특성상 박리, 채킹, 초킹이 거의 발생하지 않으며, 타 도장계가 3층 도장인 것에 반해 1층 도장(single coat)이어서 가중치를 둘 필요가 있다.
- (2) 기존의 개별화상에 대한 평가기준을 Boltzmann fit을 사용하여 연속적으로 평점이 증가하도록 개선하였다.
 - (3) 중요도가 높은 녹, 박리에 대한 배점을 현재의 시스템에 적합하도록 각각 100점, 75점 만점으로 증가시켰다.
 - (4) 경관조건 항목은 주변환경을 명확하게 구분하기가 쉽지 않을뿐더러 미관의 중요성에 대한 판단도 지나치게 주관적이므로 평가항목에서 제외하였다.
 - (5) 조사방식은 대표경간 내의 모든 열화색션을 촬영하는 전수조사 방식을 채택하는 것을 기본으로 하되, 촬영 부위가 너무 많

아지는 경우에만 예외적으로 표본조사 방식에 따르도록 하였으며, 조사에 소요되는 시간과 신뢰도 향상 2가지를 모두 고려했을 때, 가장 적정하다고 판단되는 최소 표본 수는 30개 이상, 또는 총 열화색션 수의 30% 이상 정도라고 판단되었다.

- (6) 강교 현장조사 결과를 회귀분석하여 새로운 도장수명 예측식을 도출하였다.
- (7) 수용성 무기징크 이외의 교량에 대한 녹 이외의 평점 증가추세를 고려하여 수용성 무기징크에 대한 가중치 관계식을 도출하였다.

참고문헌

1. 이찬영, 정해문, 박진환, “고속도로 강구조물의 효율적 유지관리를 위한 도막수명예측”, 대한토목학회지, 제28권 제3호, 2008.
2. 정해문, 이찬영, “강교 도막진단시스템의 현장적용을 위한 성능 최적화”, ME-06-16, 도로교통연구원 2006년도 연구보고서, 2006.

담당 편집위원: 김인태
(부산대학교 사회환경시스템공학부 부교수)
itkim@pusan.ac.kr