

매설 환경에 따른 파형강 구조물의 부식 특성 연구

A Study on the Corrosion of Corrugated Steel Structures in Buried Environment

박연수* 김병하** 한상호*** 박선준**** 서병철*****

Park, Yeon-Soo Kim, Byong-Ha Han, Sang-Ho Park, Sun-Joon Suh, Byoung-Chal

Abstract

In this research, multiple corrosion factors of buried environments were measured in order to establish a formula for the corrosion character of corrugated steel structures in domestic environments. By substituting corrosion factors for each predicting formula, the durable lifetime was measured, and the measured lifetime was compared with the estimated lifetime by applying existing thickness-measuring techniques. A new usage standard was proposed with these results, in order to create the conclusion below. There are known differences in the soil factors used as variables in estimating the duration caused by the seasonal effects of rainfall and temperature. Comparing the durable lifetime estimated by each predicting formula, the findings show that the California technique is conservative. This study demonstrates that the error range of the AISI technique, which is mostly used as a duration technique, is a very narrow predicting technique as compared with many other countries. Considering that there is on average, a 13% error margin in this study, a proposed safety factor of 0.87 could be used to more accurately predict the duration. The laying time in the California technique is not longer than the whole durability, and as a result, this error margin exists. It is concluded that this study on the open area has been overdue. Based on these findings, it's proposed that this error margin should be applied to the domestic environment through periodic observation, in order to establish the predicting techniques of durable lifetime.

Keywords : corrugated steel structures, predicting formula, durable lifetime, safety factor, predicting technique, corrosion thickness.

* 정회원, 전남대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 전남대학교 토목공학과 박사수료

*** 정회원, 순천대학교 토목공학과 교수

**** 정회원, 동신대학교 이공대학 토목공학과

***** 정회원, 전남대학교 토목공학과 박사수료,

E-mail :idea1968@empal.com 011-628-3503

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2003년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

파형강 구조물은 용융 아연 도금된 강판에 나선형으로 파형을 주어 가공하므로 일반 원형관보다 강도면에서 유리한 측면을 가지고 있다. 이러한 이유 등으로 인해 국내 토목 공사 시에 여러 가지 용도로 그 수요가 급격히 증가하고 있는 추세이다. 하지만 그 역사가 불과 7~8년 정도에 지나지 않아 파형강 구조물의 가장 취약점이라 할 수 있는 내구수명에 대한 연구가 아직까지는 미흡한 실정에 있다. 내구수명 예측 또한 미국의 캘리포니아기법 및 미국철강협회기법을 그대로 사용하고 있어 이에 대한 국내 환경에서의 적합성에 대한 평가가 절실히 요구되고 있다. 파형강 구조물은 다른 배수 구조물에 비해 구조적으로도 매우 안전하고 시공이 간편한 경제적인 토목 구조물임에도 불구하고 내구성에 대한 신뢰성 있는 조사가 이루어지지 않아 그 적용 실적에 있어서 큰 성과를 이루지 못하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 일환으로 1998년 7월~10월까지 현재 전국에 매설 되어있는 33개소의 파형강 구조물에 대하여 현장조사를 하였다. 그리고 당시의 매설 년 수와 부식 상황을 파형강 구조물의 코아 채취를 통하여 분석하였고, 아울러 이들 국외의 내구수명 예측 기법을 국내 토양 환경에 적용함에 있어서의 문제점은 없는지에 대해서도 알아보았다.

본 연구에서는 국내 매설 환경에 따른 파형강 구조물의 부식 특성 식 정립을 위해 토양 종류에 따른 부식 인자들을 측정하였다. 그리고 측정된 부식 인자들을 각 내구수명 예측기법 식들에 대입하여 내구수명을 예측하고, 예측되어진 내구수명을 잔존두께 측정기법으로 예측한 내구수명과 비교·평가하였으며, 이들 결과를 이용하여 새로운 사용 기준 안 및 새로운 내구수명 예측기법을 제시하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 조사 개소 선정

조사 개소 선정에 있어서는 현재 매설된 파형강 구조물에 관한 자료를 바탕으로 샘플의 채취가 가능하면서 부식에 취약한 해안가, 간척지, 유락시설, 농경지의

우수관이나 오수관 용도로 사용되는 곳 등을 우선적으로 선택하였고, 그 외 주·간선도로의 횡 배수관, 가 배수관 및 산간지방의 우수관 등을 선정하여 조사를 실시하였다. 가능한 사용기간이 경과된 매설 개소를 찾으려고 노력하였으나, 아직까지는 파형강 구조물의 국내 사용기간이 8년 이내로 짧고, 매설개소에 대한 정확한 위치 확인이 어려운 문제점이 있었다. Photo. 1은 본 연구에서 조사한 위치를 우리나라 지도에 나타낸 것이며, 조사 위치에 대한 세부적인 사항은 Table 1과 같다.

3. 내구수명 예측 기법

3.1 부식 속도에 영향을 미치는 인자

3.1.1 습윤함량

토양의 습윤함량은 주로 염소이온의 활동에 영향을 미치게 된다.

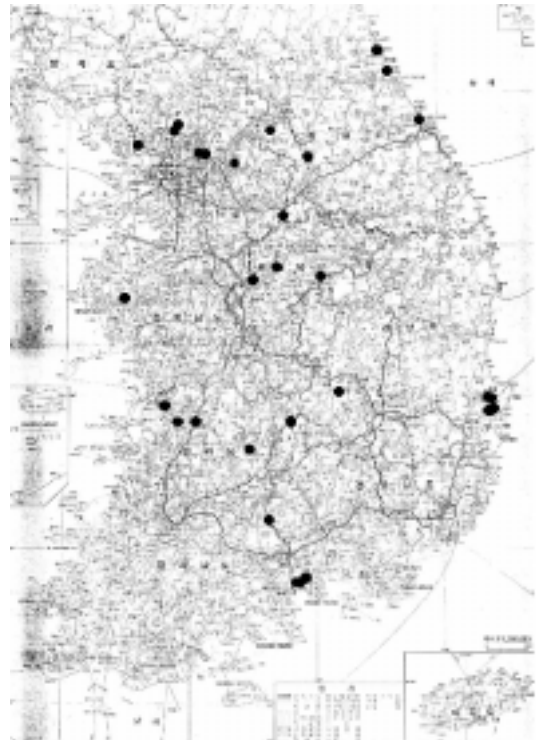


Photo 1 파형강 구조물 매설 환경 조사 위치

Table 1 파형강 구조물 매설 환경 조사 위치

순 번	소 제 지	강 관 제 원				
		설 년	관 수	관 두	관 경	관 깊이
1	전남 광양시 광양제철소 기술연구소	5	1			
2	전남 광양시 광양제철소 기술연구소	3	1	8	8	1/0
3	전남 광양시 대성공업 뒷편 배수로	5	1	6	0	1/0
4	전남 광양시 옥곡 IC. 영업소 부근	2	1	0		
5	전남 광양시 옥룡면 산간마을	3	2	0		
6	전남 구례군 지리산온천 IC. 부근	3	2	0	6	1/0
7	전북 진안군 부귀면 진입로 부근	3	3	6	8	
8	전북 익산시 3공단 성호철관 내	3	2	6	0	
9	충북 진천군 중앙 C.C. 공사현장	2	2	0	6	1/0
10	충북 음성군 금왕면 택지	2	2	8	8	
11	강원도 홍천군 대명스키장	4	1	0	0	0
12	경기도 가평군 이글스네스트 C.C.	1	1	8	0	0
13	강원도 고성군 간성읍 광산리 농경지	1	3	8		
14	강원도 고성군 토성면 학야리 농경지	1	3	8		
15	강원도 양양군 현남면 7번 국도상	2	1	6		
16	충북 충주시 상모면 수안보 2터널 부근	2	1	6	6	1/0
17	경북 예천군 용궁면 진입차로(34번국도)	2	1	6	0	1/0
18	경북 김천시 금류아파트 101동 측면	4	1	0	0	1
19	경북 포항시 흥해읍 흥해성당 앞 도로	5	3	0	8	
20	경북 포항시 한동대학교 정화수 배수관	5	1	3	0	
21	경북 포항시 효자동 신 주택단지 #1	5	1	0	0	0
22	경북 포항시 효자동 신 주택단지 #2	4	1	4	0	
23	전북 무주리조트 한솔동 뒷편 슬로프	4	1	6	0	
24	전북 군산시 호원대학교 3호관 옆	3	1	3		
25	충남 서천군 서천오거리부근(4번 국도상)	3	2	0	8	1/0
26	충남 태안-서산간 확포장공사 구간내	1	1	8	0	0
27	경기도 여주군 신리CC. 남코스 5Hole	6	1	0	0	1
28	경기도 남양주시 서울리조트	4	1	0		
29	경기도 고양시 벽제동 39번 국도상	3	2	0		
30	경기도 고양시 벽제동 삼성APT 옆	3	4	0		
31	경기도 문산시 군부대 관사 입구	3	3	0		
32	경기도 문산-선유간 도로공사구간	6	2	0		
33	경기도 강화군 농경지	4	1	0		

토양의 습윤함량이 17.5% 이하이면 염소이온농도는 용융 도금 층의 부식 속도에 그다지 큰 영향을 미치지 못한다. 그러나 습윤함량이 17.5%를 초과하게 되면 염소이온농도는 부식 속도에 많은 영향을 미치게 된다.

3.1.2 pH 농도

pH값이 중성인 7보다 낮을수록 부식 속도가 증가하나, pH가 10 이상으로 증가하면 부식성은 점점 약해지게 된다.

3.1.3 염소이온농도

염소이온농도가 증가하면 토양과 물의 저항 값이 낮아지게 되어 음극복극자로 작용한다. 적절한 토양 습도가 유지될 때의 염소이온농도의 증가는 부식 속도를 증가시키게 된다.

3.1.4 전기저항

토양의 저항 값이 높을수록(또는, 전기전도도가 낮을수록) 부식 속도가 감소한다.

3.1.5 기타 인자

강 구조물과 토양 사이의 전위 차, 토양의 황산이온 농도(SO₄), 수용액의 알카리도, 수용액의 경도 등이 있다.

3.2 주요 부식 인자 측정 방법

부식인자 측정 방법중 토양의 비저항은 다다전기공사사에서 제작한 EST-6060으로 측정된 접지저항을 식에 적용하여 토양의 비저항을 계산하였다. 매설관의 대지전위는 포화황산동 기준전극을 사용하여 실측하였다. 그리고 그 외의 부식인자들은 현장에서 직접 샘플을 채취한 후 실험실에서 그 성분들을 분석하였다.

3.3 캘리포니아 기법을 통한 내구수명의 예측

토양부식측면의 내구수명 예측은 초기 캘리포니아기법에서 제시한 아래의 식에 토양의 조건인 pH와 최소 전기저항 값을 대입함으로써 구할 수가 있다.

$$\text{pH값이 7.3이상일 때 : 내구수명년수} = 1.47R^{0.41}$$

$$\text{pH값이 7.3이하일 때 : 내구수명년수}$$

$$= 13.79[Log_{10}R - Log_{10}(2160 - 2490 \log_{10}pH)]$$

(R = 최소전기저항)

Table 2 두께에 따른 보정상수

두께(mm)	1.32	1.62	2.0	2.77	3.5	4.26
보정상수	1.0	1.3	1.6	2.2	2.8	3.4

위 식에서 구한 수용액 측면이나 토양 조건 측면에서 모두 강 구조물의 두께가 1.32mm인 것을 기준으로 제시되어진 식이므로 해당 강 구조물의 내구수명을 알기 위해서는 아래 표에 제시된 두께 보정상수를 곱해줘야 한다.

3.4 미국철강협회기법

1986년부터 5년 간의 계획으로 미국 전역에 매설된 20년에서 74년이 경과한 표본적인 파형강 구조물에 대해 현장 조사 및 실험이 시행되었다. 이 실험을 통하여 1.32mm 두께의 강 구조물에 최초의 구멍이 생기는 시점은 부식으로 인하여 13%의 두께 감소가 있을 때였다. 그러나 최초의 구멍이 파형강 구조물의 본 기능에 영향을 줄 정도는 아니었으며, 때문에 다각적으로 검토한 결과 미국표준국(NBS : National Bureau of Standards)등은 13%의 2배 정도인 25%의 두께가 감소하는데 걸리는 시간을 내구수명으로 설정하였다. 관 내부의 유수 수질과 관 외부의 외벽 토질에 대한 각각의 전기저항도(R)와 수수이온농도(pH)를 기준으로 하여 불리한 쪽을 설계조건으로 검토하도록 되어있으며, 파형강 구조물의 내구수명 산정 식은 다음과 같다.

$$pH값이 7.3이상일 때 : 내구수명 = 2.94 R^{0.41}$$

$$pH값이 7.3이하일 때 : 내구수명년수$$

$$= 27.58 [Log_{10}R - Log_{10}(2160 - 2490 Log_{10}pH)]$$

(R = 최소전기저항)

3.5 컴퓨터 프로그램에 의한 예측 기법

파형강 구조물의 내구수명은 외벽 토질의 전기저항도 (R, ohm-cm)와 수소이온농도 및 염화도(Chloride)와 습윤도(Moisture, %)의 네가지 토질 성분을 프로그램에 입력하여 아연도금의 잔류량과 함께 얻을 수

Table 3 두께에 따른 보정상수

두께(mm)	1.4	1.52	1.6	1.8	2.0	2.3	2.7	3.2	4.0
보정상수	0.92	1.0	1.05	1.18	1.32	1.51	1.78	2.11	2.63

있는데, 강판두께는 KS 1.52mm가 기준이므로 다른 두께에 적용하기 위해서는 환산계수를 곱하여야 한다. 이 방법은 미국 철강협회(AISI)와 미국 파형강관협회(NCSPA)가 강관 부식 조사의 전문업체인 코프로(Corro)사에 용역을 주어 만들어진 것으로 1986년부터 5년간의 계획으로 미국 전역에 매설되어 20년에서 74년이 경과한 표본적인 파형강관 현장에 대하여 연구조사를 시행한 것이다. 이때 조사된 자료의 부식 조건은 전기저항도(R)가 191~77,000ohm-cm이고 수수 이온치(pH)는 4.1~10.3에 이르는 방대한 범위였다.

3.6 잔존두께 측정에 의한 예측 기법

각각의 내구수명 예측 식들에 대한 적합성을 판단하기 위한 방법으로 현장에서 매설된 파형강 구조물에 대해 상부, 측부, 하부에 각각 1곳씩 25mm 가량의 코아를 채취하여 실험실 측정장비를 통하여 부식 상황을 판단하고, 이로부터 추정되는 예측 수명을 도출하였다. 시편채취 후에는 코아 채취부에 고무마개를 삽입하여 누수를 방지하였다. 잔존 아연두께는 X-ray 도금두께 측정기를 사용하여 측정하였다. .

3.7 각 기법의 국내 적용에 대한 문제점 분석

국외 파형강 구조물의 내구수명 예측 기법들을 국내 환경에 적용할 시에 발생될 수 있는 문제점들을 조사해 보았는데, 그 내용들은 다음과 같았다.

3.7.1 캘리포니아 내구수명 예측기법의 문제점

가. 계절적인 수질 변화의 영향

캘리포니아기법은 한번 측정한 수질 측정 결과에 기초하므로 계절적인 화학성분의 변화(주로 산도)가 예측수명의 정확성에 영향을 주게 된다.

나. 수용액 유속의 영향

캘리포니아 기법은 지하수가 연속적으로 흐르는 곳에 잘 적용된다. 불연속적인 유량이 있는 지역에서는 Erosion의 부식을 유발시키거나 또는 부식을 가속화시켜 예측한 수명에서 크게 벗어날 수 있다. CO₂를 많이 포함한 정체 상태의 수용액에는 용존산소가 적기 때문에 흐르는 물에서보다 보수적인 결과가 나타나므로 정체 상태의 수용액은 지역적인 내구수명의 경향을 특성화시키는데 사용해서는 안 된다.

다. 토양 환경에서의 내구수명 예측

건조지역에서의 파형강 구조물은 대부분의 시간 동안 건조상태이므로 이때는 토양부식이 전체 부식반응을 지배하게 되어 토양의 pH 및 전기저항에 기초한 캘리포니아기법이 내구수명을 예측하는데 유용하게 사용된다(지하수 흐름이 있는 일부 지역은 제외). 하지만 강우량이 많은 우리나라 실정에 도입하는 데는 여러 가지 문제점이 발생된다.

라. 온도효과

캘리포니아기법의 최종 형태에서는 서로 다른 기후에서의 정확도를 높이기 위해 평균 년중 온도 효과를 포함하여야 한다. 일반적으로 수용액 온도의 감소는 부식성이 강한 수용액의 부식성을 어느 정도 감소시키는 역할을 하기 때문에 4계절의 온도변화가 뚜렷한 국내에서의 경우 실제 예측된 내구수명보다 더 오랜 사용수명을 확보할 수 있을 것이다.

3.7.2 미국철강협회 내구수명 예측의 문제점

이 기법은 현재 미국 전역에 매설된 파형강 구조물

의 현장 조건과 부식 상황을 기초로 하여 만들어진 기법으로서 모든 환경조건을 대변한다고는 볼 수 없으며, 또한 미국에서 설정한 내구수명의 기준으로 국내에 적용할 시에는 충분한 검토가 있어야 할 것으로 판단된다.

4. 결과 및 고찰

본 장에서는 국내에 매설된 파형강 구조물들의 매설 년 수 및 사용 용도를 조사하고 이를 바탕으로 현장 조사를 마친 33개소에 대한 내구수명을 미국 철강협회기법과 캘리포니아기법 및 미국 파형강관협회에서 개발한 컴퓨터 프로그램에 의해 추정된 예측내구수명을 알아보고 각 기법에 의해 예측되어진 내구수명을 잔존두께 측정을 통하여 예측된 내구수명과 비교·평가하였다. 그리고 부득이 몇 곳은 샘플 채취가 곤란하여 내구수명을 예측하지 못한 곳이 있었는데 이 곳은 결과의 평가에 영향을 미치지 않도록 내구수명 산출 시 제외시켰다.

4.1 매설 장소에서 측정된 토질 인자

조사 위치별로 매설 파형강 구조물의 부식인자를 측정하였는데, 그 결과는 다음과 같았다.

위의 그림에서 보는 것처럼 매설 환경에 대한 토질 인자에 대하여 측정 및 분석한 결과 전기저항은 2,100~5,900Ω-cm로 평균 3,994Ω-cm가 나왔고, 수소이온농도(pH)는 4.13~8.75로 평균 6.03이 측정되었다.

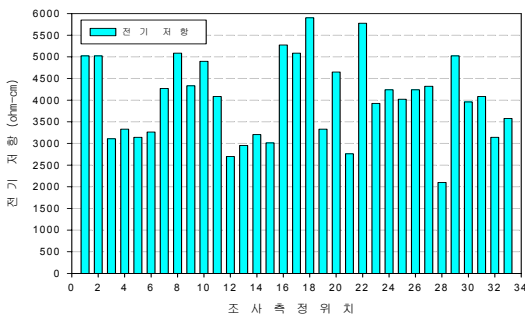


Fig. 1 조사 위치별 전기 저항도

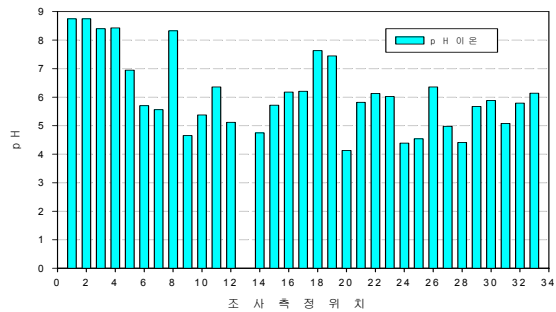


Fig. 2 조사 위치별 pH 이온농도

염소이온농도는 6.4~324.8ppm 평균 19.88ppm, 습윤함량은 7.64~37.86% 평균 19.88%, 황산이온 농도는 15.30~2497.38ppm 평균 245.08ppm, 대지전위는 0.46~4.44mV 평균 1.07mV로 측정되었다.

4.2 파형강 구조물의 매설 년 수에 따른 분류

각 조사 위치별로 매설된 파형강 구조물의 사용 기간을 관련 자료를 근거로 조사했는데, 그 내용은 Fig. 3과 같았다. Fig. 3은 조사 개소 부의 사용 기간을 나타낸 것으로 최소 0.8년에서 최대 50년, 평균 5.3년으로 나타났다. 사용 기간이 최대 50년으로 추정된 문산 군부대 앞의 파형강 구조물은 약 1948년경에 미군이 주둔하면서 매설한 것으로 마을 노인들과 군부대 원에게서 확인하였다. 그러나 미국의 파형강 구조물의 역사가 100년 정도이고 50년 이상 사용한 개소가 많은 것에 비하면 조사 대상 개소의 사용 기간이 짧음을 알 수 있었다.

4.3 파형강 구조물의 사용 용도에 따른 분류

조사 위치별로 매설된 파형강 구조물의 사용 용도에 대하여 조사하였는데, 그 내용은 다음과 같았다.

Fig. 4는 조사 개소부의 사용 용도를 분류한 도표로서, 우수관 용도가 24개소로 가장 많고 농수로관 5개소, 하수관이 4개소로 나타났다. 최근에는 국내 파형 강관업체에서 폴리머피복 등을 부가적으로 피복 처

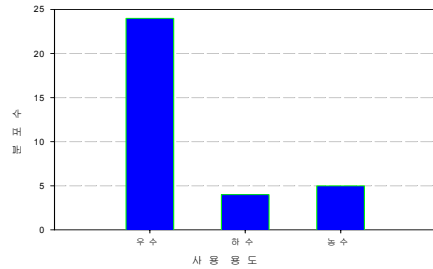


Fig. 4 사용 용도에 따른 분포현황

리한 파형 강관을 우수관 및 하수관 용도로의 사용을 추진하고 있으므로 향후 이에 대한 내구수명 평가도 필요할 것으로 판단되었다.

4.4 캘리포니아기법에 의한 내구수명

파형강 구조물의 매설 위치에서 측정된 토양의 수소이온농도 값(pH)과 최소 전기저항 값을 캘리포니아 내구수명 예측식에 대입하여 각각의 위치별로 내구수명을 예측하였는데, 그 결과는 Fig. 5와 같았다. Fig. 5에서 보면 예측 내구수명이 최소 48.95년에서 최대 184.26년으로 나타났으며, 평균 85.46년으로 산출되었다. 그리고 3곳이 다른 개소에 비해 높은 내구수명을 나타냈는데 이는 사용 용도와 관계없이 주변 토양 조건이 다른 곳에 비해 양호하게 나타났기 때문으로 판단되었다.

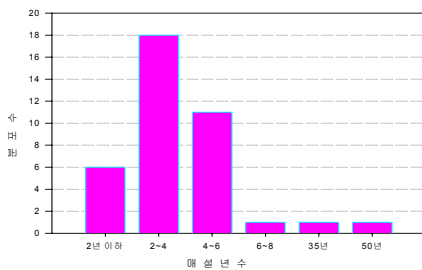


Fig. 3 매설 년 수에 따른 분포현황

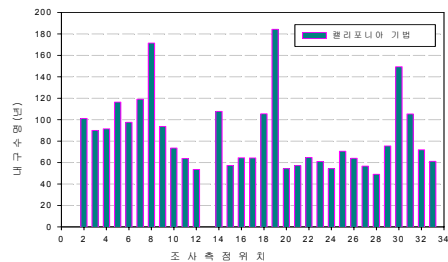


Fig. 5 조사 위치별 내구수명(년)

내구수명이 가장 낮게 나타난 Site 28의 경우를 관찰해 보면, 측정 당시 이 지점이 폭우로 인하여 사면이 유실된 상태였었다. 이처럼 측정 당시의 토질 환경이 내구수명의 예측에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

4.5 미국철강협회기법에 의한 내구수명

캘리포니아기법과 같이 파형강 구조물의 매설 위치에서 측정된 토양의 수소이온농도 값(pH)과 최소 전기저항 값을 이용하여 내구수명을 예측하였는데, 그 결과는 Fig. 6과 같았다. 그림을 살펴보면 예측식을 통하여 산출된 내구수명이 최소 59.3년에서 최대 290.5년으로 나타났으며, 평균 120.8년으로 나타났다. 이 기법에서도 캘리포니아기법과 같이 같은 위치의 3곳이 다른 개소에 비해 높은 내구수명을 나타냄을 알 수 있었고, 이 또한 사면이 유실된 Site 28에서 가장 낮은 내구수명을 나타내었다.

4.6 컴퓨터 프로그램에 의한 내구수명 예측

미국 파형강관협회와 미국철강협회에서 개발한 컴퓨터 프로그램을 이용하여 내구수명을 예측하였는데, 그 결과는 Fig. 7과 같았다.

컴퓨터 프로그램에 의한 내구수명 예측 결과를 살펴보면 Fig. 7에서 보는 바와 같이 최소 20.5년에서 최대 150년까지 평균 108.6년으로 나타났다. 여기서 보면 내구수명이 150년이 상한선으로 되어있는데, 그

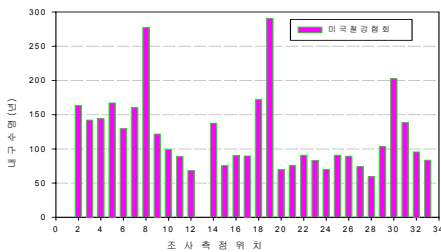


Fig. 6 조사 위치별 내구수명(년)

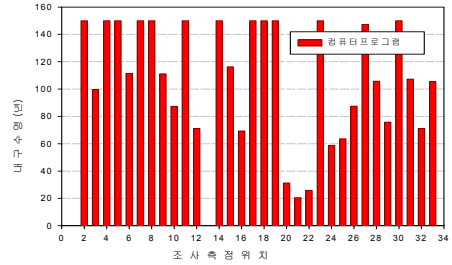


Fig. 7 조사 위치별 내구수명(년)

이유는 프로그램 상에서 내구수명의 상한 값을 150년으로 규정하고 있기 때문이며, 이를 초과하는 값에 대해서는 예측이 과소 평가되는 문제점이 있었다. 다른 곳에 비해 내구수명이 낮게 나타난 곳을 살펴보면 이곳은 측정 전 집중호우가 내렸던 곳으로 토양의 습윤함량이 다른 곳에 비해 상당히 높게 측정되었으며, 이로 인해 생긴 오차가 컸을 것이라고 판단되었다. 이 예측 기법 역시 다른 예측 기법들처럼 측정 당시의 토질 환경에 따라 예측 내구수명이 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

4.7 잔존두께 측정에 의한 내구수명 예측

매설된 파형강 구조물에 대해 현장에서 직접 상부, 측부, 하부 각각 한곳 씩 직경 25mm 가량의 코어를 채취하였다. 채취한 시료를 실험실에 있는 측정 장비를 통해 부식 상황 및 두께를 측정하여 내구수명을 예측해 본 결과는 Fig. 8과 같았다.

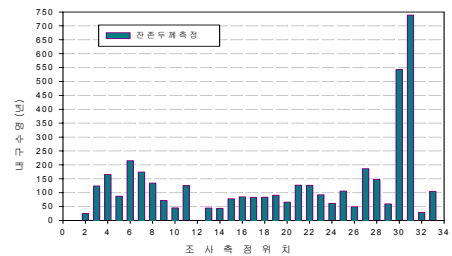


Fig. 8 조사 위치별 내구수명(년)

위의 그림에서 보는 바와 같이 잔존두께 측정 기법에 의한 내구수명을 알아본 결과, 최소 25.5년에서 최대 739년까지 평균 167년으로 예측되었다. 그림 중에서 내구수명이 상대적으로 크게 나타난 2곳은 1950년대 미군에 의해 설치되었던 것으로 매설 년수가 오래되고 기존 제품과는 달라 초기 두께 산정시 오차가 크게 작용하였을 것이라고 판단되었다. 그리고 내구수명이 25.5년으로 가장 낮게 나타난 광양제철 연구소 내에 위치한 Site 2의 경우는 파형강 구조물을 매설한 장소가 바다를 매립한 간척지로 매립도에 함유된 Cl 이온이 파형강 구조물의 부식을 촉진시켜서 다른 곳에 비해 상대적으로 내구수명이 적게 나타난 것으로 판단되었다. 또한 예측 내구수명이 37.8년으로 나타난 Site 32의 문산-선유간 국도에 매설된 파형강 구조물의 경우는 매설 년수가 8개월에 불과하였고, 집중 호우시 토사에 의한 마모가 많이 발생되어 있어 현 시점에서 정확한 내구수명 예측은 곤란하였다.

4.8 각 평가기법들의 예측 내구수명 비교

조사 대상 개소에 대한 토양의 부식 인자들을 각 예측 기법 식에 대입하여 구한 내구수명과 잔존두께 측정 기법을 통해 예측한 내구수명을 비교하였는데, 그 결과는 Fig. 9와 같았다. 그림에서 Site 30, 31의 경우는 잔존두께에 의한 내구수명이 다른 기법들보다 크게 차이가 있어 그래프 상에 수치로 기입하였다. 그리고 측정 상의 오차가 크다고 판단되는 2곳 정도를 제외하면 각 기법의 측정 자료들 간에 어느 정도는 일관

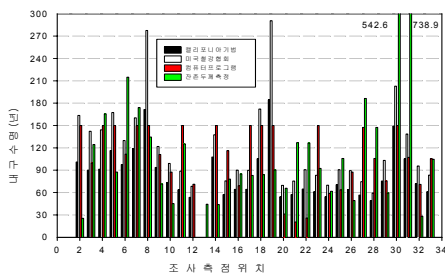


Fig. 9 조사 위치별 각 기법들에 대한 내구수명(년)

성 있는 결과가 도출되었다고 판단되었다. 그림에서 각 기법에 의한 예측내구 수명을 비교해 보면 캘리포니아기법의 경우 예측 내구수명은 최소 48.95년, 최대 184.26년, 평균 85.46년, 미국철강협회기법의 경우 예측 내구수명은 최소 59.3년, 최대 290.5년, 평균 120.8년, 컴퓨터 프로그램에 의해 산출된 예측 내구수명은 최소 20.5년, 최대 150년, 평균 108.6년, 잔존두께 측정 기법에 의한 예측 내구수명은 최소 25.5년, 최대 739년, 평균 167년 등으로 각각 예측되었다. 위의 결과에서 보면 다른 예측 기법들에 비해 캘리포니아기법의 내구수명이 낮게 나타남을 알 수 있다.

4.9 오차율을 이용한 각 평가 기법들 비교

캘리포니아기법과 미국 철강협회기법 및 컴퓨터 프로그램에 의해 예측된 내구수명과 잔존두께 측정에 의해 예측된 내구수명과의 차이를 잔존두께 측정치에 대한 백분율로 평가해 보았는데, 그 결과는 Fig. 10과 같았다.

그림의 결과에서 현장 측정 시와 실내 실험 시의 오차를 고려해 100%이상의 오차를 나타내는 Site를 제외하면 각각의 기법에서 오차의 평균값이 캘리포니아기법의 경우 40.56%, 컴퓨터 프로그램에 의한 기법은 46.77%로 나타났고 미국철강협회기법의 경우는 17.46%로 가장 적은 오차율을 나타냈었다. 그리고 본 연구에서 조사한 매설 환경 33개소의 토양 부식에 대해 분석하여 본 결과, 토양 속에 포함된 불확실한 요인들과 잔존두께 측정의 경우 초기 매설 시의 파형

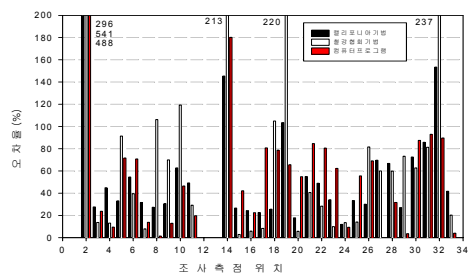


Fig. 10 내구수명 예측기법과 오차율과의 관계

강관 두께의 불확실성으로 유발되는 오차 및 매설 년수가 전체 내구수명에 비하여 얼마 되지 않아 발생한 오차로 인해 각각의 예측기법으로 구한 내구수명과 잔존두께 측정기법으로 구한 예측 내구수명 간에 차이가 크게 나타나는 것으로 판단되었다. 향후 국내 환경에 적용할 수 있는 더욱 정확한 내구수명 예측기법을 개발하기 위해 사용기간이 상당 기간 경과한 개소를 대상으로 주기적인 관찰을 통한 연구가 계속되어야 한다고 판단되었다.

4.10 내구수명 예측식 제안

본 연구에서 처음으로 적용한 잔존두께 측정기법을 국외의 내구수명 예측기법들과 비교한 결과 현재 국내에서 내구수명 예측기법으로 가장 많이 적용되고 있는 미국철강협회 기법과 오차의 정도가 가장 적음을 알 수 있었으며, 잔존두께 측정기법이 현장에서 채취한 실제 시편을 이용한다는 관점에서 볼 때 신뢰성이 높을 것이라 판단된다. 그래서 본 연구에서는 현재 시공되어 사용중인 파형강 구조물에 대한 내구수명 예측 기법으로 잔존두께 측정기법을 다음과 같이 새로이 제안하였다. 파형강 구조물의 두께를 point micrometer를 사용하여 최대치 및 최소치를 각각 10회 이상 측정하여 두께가 가장 큰 곳의 치수가 초기 두께 이상이 나올 시에는 이를 초기 두께로 선정하고, 최소 두께를 보이는 곳을 앞으로 최초의 구멍부식이 일어날 곳으로 예상한다. 캘리포니아기법에서는 최초로 구멍부식이 발생한 시점을 내구수명으로 보고 있으나, 그 외 다른 기법에서는 이의 약 2배의 기간을 내구수명으로 보고 있으므로 잔존두께 측정으로 예측한 내구수명의 값에 2배를 하여 예측 내구수명으로 정한다. 예측 내구수명은 초기두께와 측정두께와의 차를 매설 년 수로 나누어서 산출된 값을 이용해 현재 남아있는 부분에 대해 구멍 부식이 발생할 때까지를 비례식으로 계산한다

4.11 오차율을 이용한 예측 내구수명 보정

앞에서 오차율을 이용하여 여러 가지 기법의 내구수명 예측 값들을 잔존두께 측정기법에 의한 내구수명

과 비교·분석하였는데, 그 결과 현재 국내·외에서 파형강 구조물의 내구수명 예측기법으로 가장 많이 사용되고 있는 미국 철강협회기법이 그 오차 범위가 가장 좁다는 것을 알 수 있었다. 그리고 잔존두께 측정에 의한 추정 내구수명에 비하면 전체적으로 높은 내구수명을 예측하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 이에 대한 신뢰성을 확보하기 위하여 여기에 안전계수 값을 도입한다면 오차의 감소를 유도할 수 있을 것으로 생각된다. 안전계수는 앞절에서 오차 범위를 크게 벗어난 값을 제외하고 산출한 평균 오차율 약 17%를 사용하였으며, 이 오차 만큼을 안전계수로 설정하였다. 그 결과 전체 개소 중 사용된 개소는 모두 23개소로서 이 값들은 잔존두께 측정법과의 평균 오차가 13%로서 이것의 영향을 고려하여 0.87의 안전계수를 제안하였다. 본 연구에서는 파형강 구조물 설계 시 강관의 소요 두께를 산정함에 있어서 토양 부식 측면에 대해서는 미국철강협회에서 제시한 내구수명 예측식을 통해 추정된 값에 안전계수 0.87을 곱하여 예상 내구수명으로 추정해야 한다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 토양 부식 인자들을 측정된 결과, pH는 4.13~8.75, 전기저항은 2,100~5,900Ω-cm, Cl농도는 6.4~3248ppm, SO₄농도는 15.30~2,497.38ppm, 습윤함량은 7.64~37.86%로 나타남을 알 수 있었다.
- 2) 내구수명 예측 시 변수로 작용하는 토질 인자의 경우, 계절적인 영향과 강우량 및 온도에 따라 다소 상이한 차이를 나타내고 있었다. 그리고 현재 국내에서 적용하고 있는 예측 기법들이 외국의 환경 조건 및 내구수명 기준에 따라 만들어진 예측기법임을 감안해 볼 때, 이 기법들을 국내 환경에 적용할 경우에는 이에 대한 좀 더 세밀한 검토가 필요하다고 판단되었다.
- 3) 잔존두께 측정기법을 국외의 내구수명 예측기법들과 비교한 결과 현재 국내에서 내구수명 예측기법으로 가장 많이 적용되고 있는 미국철강협회 기법

과 오차의 정도가 가장 적음을 알 수 있었으며, 잔존두께 측정기법이 현장에서 채취한 실제 시편을 이용한다는 관점에서 볼 때 신뢰성이 높을 것이라 판단된다. 그래서 본 연구에서는 현재 기 시공되어 사용중인 파형강 구조물에 대한 내구수명 예측 기법으로 잔존두께 측정기법을 새로이 제안하였다.

- 4) 잔존두께 측정 기법과 다른 기법들의 오차율을 이용하여 비교·분석해 본 결과, 현재 국내·외에서 내구수명 예측 기법으로 가장 많이 사용하고 있는 미국철강협회기법의 오차 범위가 가장 좁다는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 이때의 오차가 평균 13% 임을 감안하여 내구수명 예측 시 사용할 수 있는 0.87 이란 안전계수를 제안하였다. 그리고 파형강 구조물 설계 시 내구수명을 산정할 경우 미국철강협회기법을 통하여 예측된 값에 안전계수 0.87을 곱한 값을 예상 내구수명으로 추정해야 한다고 판단하였다.
- 5) 내구수명 예측 시 매설 년 수가 전체 내구수명에 비하여 얼마 되지 않고 이로 인한 오차 등을 고려해 볼 때, 향후 국내환경에 적용할 수 있는 더욱 정확한 내구수명 예측 기법을 개발하기 위해 사용 기간이 상당 기간 경과한 개소를 대상으로 주기적인 관찰을 통한 연구가 계속되어야 한다고 판단되었다.

참고문헌

1. 윤병하, 김대룡 역 “금속의 부식과 방지개론”, 형설출판사.
2. 포항종합제철주식회사, “아연도금열연강판-포항제철의 강재와 HGI의 품질특성”, 1993.
3. 정인준, 김병모, “토질공학원론”, 구미서관.
4. 김명희, 이갑득 “최신 분석화학”, 청문각.
5. AISI, “Handbook of Steel Drainage & Highway Construction Products”, 1993, 제4판.
6. AISI, “Modern Sewer Design”, 1990.
7. AISI-NCSPA, “Condition and Corrosion Survey on Corrugated Storm Sewer & Culvert Pipe”, 1991.
8. AISI, “Handbook of Culvert & Drainage Practice”.

(접수일자 : 2002년 7월 29일)