

강재 수문의 부재 위치 및 설치 방향에 따른 상대 부식속도 평가

하민균¹, 정영수², 박승훈³, 안진희^{4*}

Evaluation of Relative Corrosion Rate depending on Local Location and Installation of Structural Member in Steel Water Gate

Min-Gyun Ha¹, Young Soo Jeong², Seung hun Park³, Jin-Hee Ahn^{4*}

Abstract: The corrosion amounts of steel structures can be different depending on their installation condition and height. Thus, their corrosion maintenance should be considered depending on installation conditions of local structural members. In this study, an atmospheric exposure test was conducted to evaluate the corrosion amount and the corrosion rate depending on the installation condition and height of a steel water gate using monitoring steel plates and corrosion environment measuring sensors. The mean corrosion depth was evaluated using the weight loss method and the galvanic corrosion current was measured by corrosion environment measuring sensors. Local corrosion rate of local structural member in steel water gate was estimated using measured mean corrosion depths and galvanic corrosion currents. From this measurement results, the corrosion damage in horizontal member of the cross beam was highly evaluated than those of other structural member as skin plate, etc. The relative difference in the corrosion rate of a local structural member could be highly affected by local corrosion environments of steel water gate members. Therefore, an appropriate maintenance method should be considered for local corrosion damages of local structural members determined by local corrosion environments of a steel water gate.

Keywords: Steel water gate, Cross beam, Atmospheric exposure test, Mean corrosion depth, Galvanic corrosion current, Corrosion damage

1. 서론

수문은 유량을 조절 또는 유지하기 위하여 수로에 설치하는 구조물로서 목적과 구조 형식에 따라 여러 종류로 구분할 수 있으며 일반적으로 수문은 홍수, 태풍과 같은 자연재해로부터 침수방지를 도모하고 취수, 배수를 위한 시설로 설치된다(Jeong et al., 2017). 배수문의 경우 내구성 감소나 열화로 인하여 관련된 지역에 큰 피해를 초래할 수 있으므로 이에 대한 설계기준을 마련하여 안정성을 확보하도록 하였다(Kwater, 2014). 그 중 댐 및 수문과 관련한 연구 중에 수문의 하도 형태, 경관 등에 대한 모니터링과 댐 수문의 지진해석 등이 이루어지고 있으나 상대적으로 댐수문의 내구성과 관계된 수문부식에 대한 모니터링이나 이에 대한 내구성 평가는 부족한 실정이다(Lee et al., 2019(a); Lee et al., 2019(b); Bea et al.,

2009).

강구조물에 대한 유지관리의 대표적인 부분은 장기적인 부식으로 인하여 발생하는 열화손상이다. 강재의 부식 발생량은 구조물의 설치형상이나 설치환경에 따라 상이하게 발생하며, 대부분 외부로부터 발생하는 환경적 요인이 강재 부식의 원인이다. 이러한 부식의 원인이 되는 요인으로부터 발생하는 강구조물에 대한 부식량을 평가하여 강구조물의 노후화에 대한 적절한 유지관리가 필요하다. 특히 수문의 경우 상대적으로 상대습도가 높은 환경에 설치되고 주기적으로 물과 접촉하여 다른 강구조물과 비교하여 부식에 대하여 더욱 취약할 수 있으며 빠른 부식속도에 의하여 내구성 감소가 우려되며, 그에 따른 효율적인 유지관리가 필요하다. 강구조물의 부식정도를 정량적으로 평가하기 위한 방법으로 열화촉진실험을 통하여 강재 표면에 생성된 부식물의 두께를 이용하는 방법과 일반적인 대기노출환경에 따른 부식손상정도를 지역별로 평가하여 부식량을 예측하는 방법 등이 이루어지고 있다(Lee et al., 2018; Ahn et al., 2019). 하지만 이러한 연구들은 실내 실험으로 부식량을 평가하였고 일반적인 대기환경에 대하여 부식량을 평가하였으므로 실제 구조물의 국부적인 부식환경에 의하여 발생하는 부식량과 차이가 날 수 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 강재 수문의 구조적 설치형상

¹학생회원, 경남과학기술대학교 토목공학과 석사과정

²정회원, 부산대학교 지진방재연구소 선임연구원, 공학박사

³정회원, 한국수자원공사 남강지사 차장

^{4*}정회원, 경남과학기술대학교 토목공학과 부교수

*Corresponding author: jhahn@gntech.ac.kr

Department of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, 33 Dongjin-ro, Jinju, Gyeongnam, 52725, Republic of Korea

•본 논문에 대한 토의를 2020년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2020년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

과 높이에 따라 상대적으로 다르게 나타날 수 있는 국부적 부식환경에 따른 강제 수문부재의 상대적 부식속도를 평가하였다. 강제 수문의 부식손상량을 평가하기 위하여 실제 다목적댐 제수문에 설치되어 있는 롤러게이트 형식의 강제 수문을 대상으로 대기노출실험을 실시하였다. 강제의 부식손상량을 평가하기 위하여 일반적으로 강구조물 제작에 사용되는 강종과 동일한 강종의 모니터링 강판 시험체를 제작하여 강제 수문에 설치하였으며, 노출기간에 따라 시험체를 회수하여 설치위치와 높이에 따라 평균부식두께를 평가하였다. 또한 모니터링 시험체와 함께 부식환경측정 센서를 설치하여 갈바니 부식전류량을 계측하여 대기노출실험으로 평가된 실제 강제의 평균부식두께와 갈바니 부식전류량의 상관관계를 이용하여 노출 기간에 따른 강제 수문의 부식속도를 추가적으로 검토하였다.

2. 강제 수문 대기노출실험

강제로 제작된 수문은 지속적으로 물에 접촉하는 부식에 대하여 취약한 환경에 설치되어 있다. 강제 수문은 시공완료 후 수문의 기능을 발휘하고 운영 시에 안전하게 운영될 수 있도록 안정성 검증이 필요하다(Park, 2015). 수문의 사용수명중에 발생할 수 있는 수문의 구조적 안정성에 영향을 주는 대표적인 요인으로 부식손상에 따른 수문 본체의 국부적인 단면감소가 될 수 있다. 실제로 수문에서 발생할 수 있는 이러한 부식손상의 영향을 평가하기 위해서는 강제 수문의 열화가능성과 열화환경을 평가할 필요성이 있으며, 이에 따른 수문의 내구성 수준을 평가할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 롤러게이트 형식의 강제 수문을 대상으로 대상 수문의 높이별 수문 부재에 대한 상대적 부식손상량을 정량적으로 평가하고자 하였다.

2.1 부식손상 평가 강제 수문

본 연구에서 부식손상이 평가된 강제 수문은 댐의 제수문으로 사용되고 있는 롤러게이트 타입 강제 수문으로 스킨플레이트와 함께 가로보 및 세로보로 구성되어 있는 형태이다. 대상 수문의 경우 가로보가 스킨플레이트와 일체화하여 수문에 작용하는 수압에 저항하는 형식으로 가로보의 중앙부에는 물이 고이지 않도록 홀이 설치되어 있다. 수문 스킨플레이트를 기준으로 일정한 간격으로 가로보가 설치되어 있으며, 가로보간 설치간격이 수문 상부에서 하부까지 감소하는 형태를 가지고 있다. 또한 대상 수문의 경우 통상적으로 단혀 있으므로 수문 상하부의 열화환경이 국부적으로 상이하게 나타날



Fig. 1 Target steel water gate

수 밖에 없을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 수문을 구성하는 부재의 형상을 중심으로 상대적인 국부열화환경에 따른 수문을 구성하는 각 부재들의 설치 위치 및 형상에 따른 상대적 부식속도를 비교 평가할 수 있도록 하였다. Fig. 1은 본 연구에서 열화환경과 상대적 부식손상량을 평가하기 위하여 검토된 강제 수문으로 대상 수문의 유지관리를 위하여 수문을 일시적으로 인양된 상태이다.

2.2 대기노출실험

대상 강제 수문의 설치형태와 높이에 따라 나타날 수 있는 상대적인 부식속도를 평가하기 위하여 강제 수문의 높이를 Fig. 2와 같이 상대적으로 수분과 접촉이 적은 최상층 A층, 중간층 B층, 수분과 지속적으로 접촉하며 최하층인 C층으로 구분하고 수평부재, 수직부재, 스킨플레이트 부재로 설치형태를 구분하여 모니터링 시험체(Monitoring steel plate)를 부착하였다. 실제 수문에 부착한 모니터링 시험체의 위치를 Fig. 3에 나타내었다. 대상 수문의 최상층인 A층의 경우 상부수평부재, 스킨플레이트부재, 수평부재, 수직부재를 대상으로 모니터링 시험체를 부착하였으며, B층의 경우 수평부재에만 모니터링 시험체를 설치하여 대기노출실험을 실시하였으며, C층의 경우 스킨플레이트부재, 수평부재, 수직부재를 대상으로 모니터링 시험체를 부착하여 대기노출실험을 실시하였다.

A층의 경우 모니터링 시험체와 함께 부식환경측정 센서를 함께 부착하여 갈바니 부식전류량과 평균부식두께의 상관관계를 통하여 부식량을 예측하고자 하였다. Fig. 3은 강제 수문을 구성하는 부재의 형상과 높이를 구분하여 상대적인 부식열화환경을 평가하기 위하여 실제 수문 부재를 구성하는 가로보와 세로보 부재의 부재를 구분하여 모니터링 시험체를 부착한 모습이다.

강제 수문의 열화환경 평가를 위하여 두께 3mm, 폭 60mm의 모니터링 시험체를 일반구조용 압연강재 SM490 강재를 사용하여 제작하였다(KS D ISO 3503, 2016). Fig. 3에 나타난



Fig. 2 Monitoring floor for a target steel water gate

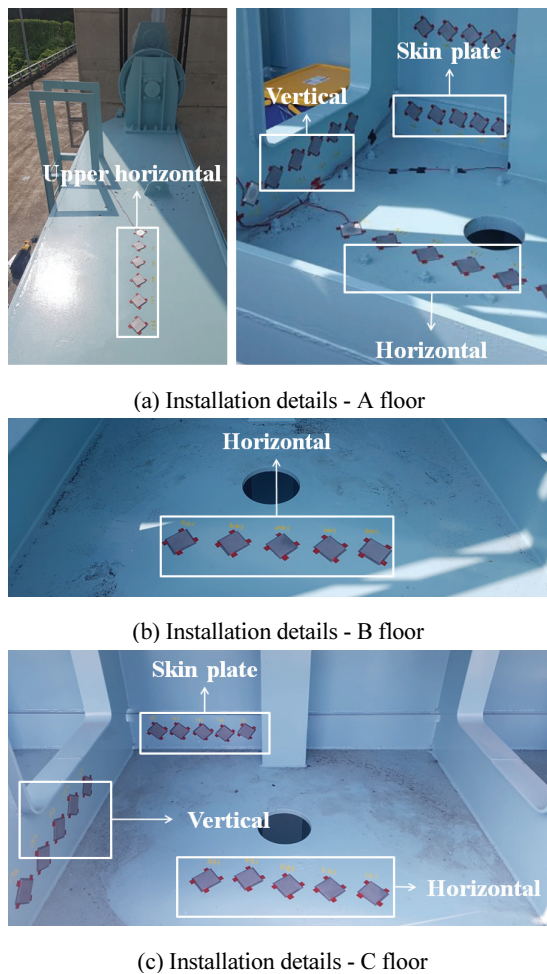


Fig. 3 Installation details of monitoring steel plate

것과 같이 모니터링 시험체를 실제 수문 부재에 설치함으로써 실제 부재와 동일한 부식환경에 노출될 수 있도록 하였다. 대상 강재 수문의 A층에 온습도계를 설치하여 부식손상에 영향을 주는 온습도를 확인할 수 있도록 하여 선행연구에서 평가된 강재 수문의 설치 지역의 온습도와 비교할 수 있도록 하였다(Jeon et al. 2019).

2.3 부식량 평가 방법

부식열화환경 및 부식손상의 평가는 상대적으로 상대습도가 높고 부식손상이 활발하게 발생하는 하절기부터 시작하여 그 영향을 확인하였다. 설치된 모니터링 시험체는 6개월, 12개월 및 24개월 후 회수하여 대상 강재 수문의 부식량을 평가하였다. 시험체를 회수하여 KS D ISO 8407에 명시되어 있는 방법을 통하여 모니터링 시험체 표면에 생성된 부식생성물을 제거하였으며, 실험 전과 실험 후의 무게를 비교하여 평균부식두께를 평가하는 중량감소법을 이용하여 평균부식두께를 평가하였다(KS D ISO 8407, 2014). 이를 통하여 평가된 6개월, 12개월, 24개월 동안 발생한 평균부식두께를 통하여 향후 부식량을 예측하였으며, 부식환경측정 센서를 통하여 12개월 동안 측정된 갈바니 부식전류량과 평균부식두께의 상관관계를 이용하여 향후 부식량을 검토할 수 있도록 하였다.

3. 대기노출실험 결과

3.1 평균부식두께 평가 결과

노출기간에 따른 실험 전, 후의 중량변화를 평가하여 높이, 설치형상에 따른 평균부식두께를 정량화하여 Table 1에 나타내었다. 스킨플레이트부재, 수직부재의 경우는 초기 1년의 평균부식두께가 9.55~18.05 μm 로 평가되었고 2년의 평균부식두께는 16.28~36.80 μm 까지 평가되는 것을 알 수 있으며, 높이에 따라 유사하게 평가되는 것을 알 수 있다. 스킨플레이트부재 및 수직부재의 경우 설치 후 발생하는 초기 부식은 모니터링 시험체 전체에 발생하는 것이 아니라 국부적인 부식으로 부식이 거의 발생하지 않은 것을 알 수 있으며, 부식량이 수평부재에 부착한 실험체의 결과와 비교하여 상대적으로 부식발생량이 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 이와 비교하여 수평부재나 스킨플레이트 상부에 설치한 모니터링 실험체의 평균부식두께가 초기 6개월부터 스킨플레이트부재 및 수직부재에 부착된 모니터링 실험체와 비교하여 상대적으로 매우 크게 나타나고 있으며 노출시간 증가에 따라 그 상대적인 차이는 감소하고 있음을 알 수 있다.

강재 수문의 높이, 설치형상에 따른 부식량을 비교하기 위

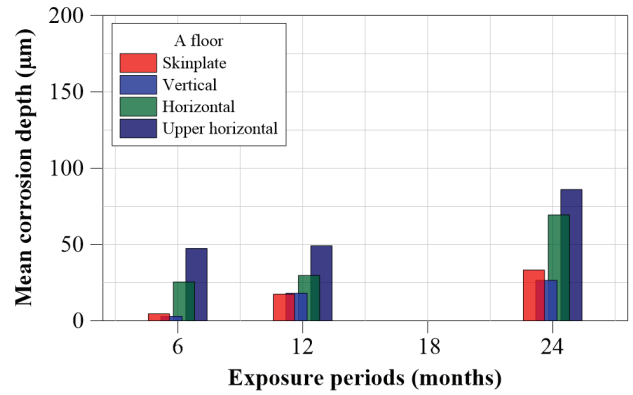
Table 1 Evaluation results of mean corrosion depth

Structural member	Mean corrosion depth(μm)			
	6 months	12 months	24 months	
A floor	Upper horizontal	47.42	49.19	85.99
	Horizontal	25.48	29.72	69.36
	Skin plate	4.60	17.40	33.26
	Vertical	2.83	18.05	26.54
B floor	Horizontal	7.43	32.20	76.08
	Horizontal	13.09	76.79	186.84
C floor	Skin plate	3.19	23.36	36.80
	Vertical	2.12	9.55	16.28

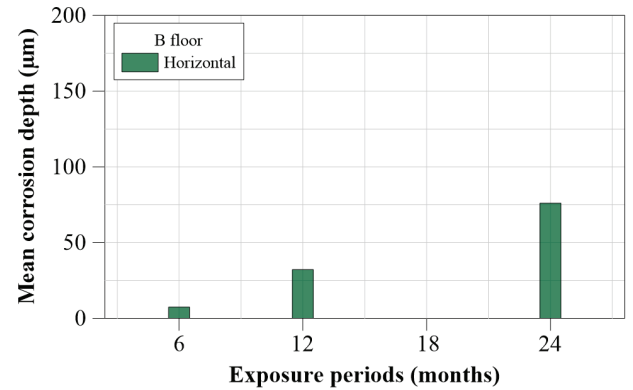
하여 평균부식두께를 Fig. 4에 나타내었다. A층의 수평부재의 경우 부식 초기에 강우나 습도 등으로 인하여 부식이 활발하게 진행되는 하계에 시험체를 설치하여 부식이 급격하게 진행된 것을 알 수 있다. 상부수평부재는 구조물의 최상부에 위치하고 외부에 노출되어 있어 강우, 물과 같은 부식환경 요인에 직접적인 영향을 받아 다른 부재보다 부식이 빠르게 진행되고 2년 평균부식두께가 85.99 μm 까지 급속도로 증가하였다. C층 수평부재의 경우 부재가 강우 등으로 인하여 침투한 물에 대한 배수가 적절하게 이루어지지 않아 지속적인 침수가 발생하거나 상대습도가 상대적으로 높은 열악한 부식환경에 노출되어 다른 부재와 비교하여 모니터링 시험체의 부식이 급격하게 진행되는 것을 알 수 있으며, 2년간 평균부식두께가 186.84 μm 까지 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과로 상대적으로 C층이 다른 층에 비하여 좋지 않은 부식환경에 노출되어 있는 것을 알 수 있다. 수평부재를 대상으로 모니터링 시험체를 설치한 B층의 경우, A층 및 C층의 수평부재와 비교하여 초기 6개월의 평균부식두께는 상대적으로 작으나 노출시간 증가에 따라 유사하거나 그 이상의 평균부식량을 보여주고 있음을 알 수 있다. 따라서 동일한 수평부재라도 수문에서 발생할 수 있는 국부적인 열화환경 차이로 평균부식두께가 설치된 높이나 환경에 따라 상이하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

3.2 평균부식두께를 통한 부재별 부식등급 평가

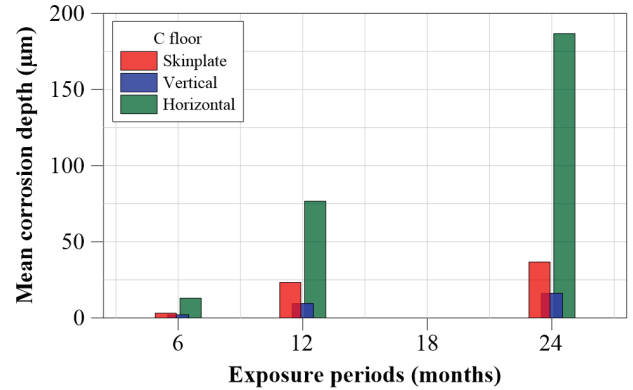
본 연구에서 실시한 대상 수문의 모니터링 시험체의 평균 부식속도 평가 결과를 이용하여 평균부식두께 측정결과를 이용하여 대상 부재의 부식속도를 평가할 수 있을 것으로 판단되나 초기 부식속도에 따라 부식예측 결과가 상이하게 나타날 수 있으므로 Table 2과 같이 ISO기준에 제시된 탄소강의 초기부식속도 결과와 비교하여 대상 부재위치별 부식등급과 초기 10년간 부식속도를 선형적으로 예측하여 Fig. 5에 나타



(a) A floor



(b) B floor



(c) C floor

Fig. 4 Mean corrosion depth of each monitoring floor

내었다(KS D ISO 9223, 2015). ISO기준의 경우 초기 10년간의 부식속도를 부식환경에 따라 정의하고 있으므로 본 연구에서 계측한 평균부식속도를 결과와 이를 비교하고 부재별 부식속도 등급을 나타내었다. Fig. 5에 나타낸 것과 같이 대상 수문의 모든 수평부재의 경우 부식환경 등급이 C3~C4 등급으로 평가되고 있으며, 스킨플레이트와 수직부재의 경우 C2 등급으로 평가되고 있음을 알 수 있다. 특히 C층의 경우 상대적으로 수평부재의 열화속도가 매우 빠르고 상대적으로 부식

Table 2 Corrosivity grade of carbon steel (KS D ISO 9223, 2015)

Grade	Unit	Carbon steel
C1 (Very low)	After one year of exposition	$r_{corr} \leq 1.3$
	Normal state	$r_{lin} \leq 0.1$
C2 (Low)	After one year of exposition	$1.3 < r_{corr} \leq 25$
	Normal state	$0.1 < r_{lin} \leq 1.5$
C3 (Medium)	After one year of exposition	$25 < r_{corr} \leq 50$
	Normal state	$1.5 < r_{lin} \leq 6$
C4 (High)	After one year of exposition	$50 < r_{corr} \leq 80$
	Normal state	$6 < r_{lin} \leq 20$
C5 (Very high)	After one year of exposition	$80 < r_{corr} \leq 200$
	Normal state	$20 < r_{lin} \leq 90$

안정화가 발생하지 않을 경우 상대적으로 부식손상량이 매우 크게 나타남에 따라 C4 등급으로 평가되고 있으며, 24개월의 평균부식두께를 고려할 경우 C5 등급으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 다른 수문 부재와 달리 롤러게이트로 형식의 대상 수문의 최하층 가로보 부재의 경우 상대적으로 부식 속도가 매우 크게 발생할 수 있으므로 도장열화가 발생하거나 국부적인 도장손상이 발생할 경우 부재의 부식손상이 급격하게 발생할 수 있으므로 이에 대한 유지관리 측면의 주의가 필요함을 알 수 있다.

4. 갈바닉 부식전류측정을 통한 부식량 예측

4.1 갈바닉 부식전류량 평가 결과

대상 수문의 A층에서 상대적 부식환경과 부식손상 수준을 예측평가하기 위하여 설치한 부식환경측정 센서의 갈바닉 부식전류량을 하계와 동계(2017년 8월부터 2018년 8월까지)로 구분하여 Fig. 6에 나타내었다. Table 3은 대상 수문의 상대적 부식열화환경을 비교하기 위하여 대상 수문 설치 지역에서 측정된 온습도 측정결과와 실제 강제 수문이 설치된 환경에서 측정된 온습도를 비교한 것이다(Jeon et al., 2019). Table 4에 나타나는 것과 같이 강제 수문이 설치된 곳의 온습도 측정결과 수문인근지역에서 측정된 평균온도는 동일하나 평균 상대습도가 약 10% 높은 것을 알 수 있다.

Fig. 6과 같이 부식환경 측정 센서로 측정된 갈바닉 부식전류 결과의 경우 기존 연구와 동일하게 상대습도와 온도가 높은 하계의 갈바닉 부식전류량 측정 값이 동계의 측정 값이 높게 측정되는 것을 알 수 있으며, 앞의 평균부식두께 결과에 나타난 것과 같이 갈바닉 부식전류량이 높게 측정되는 부재일

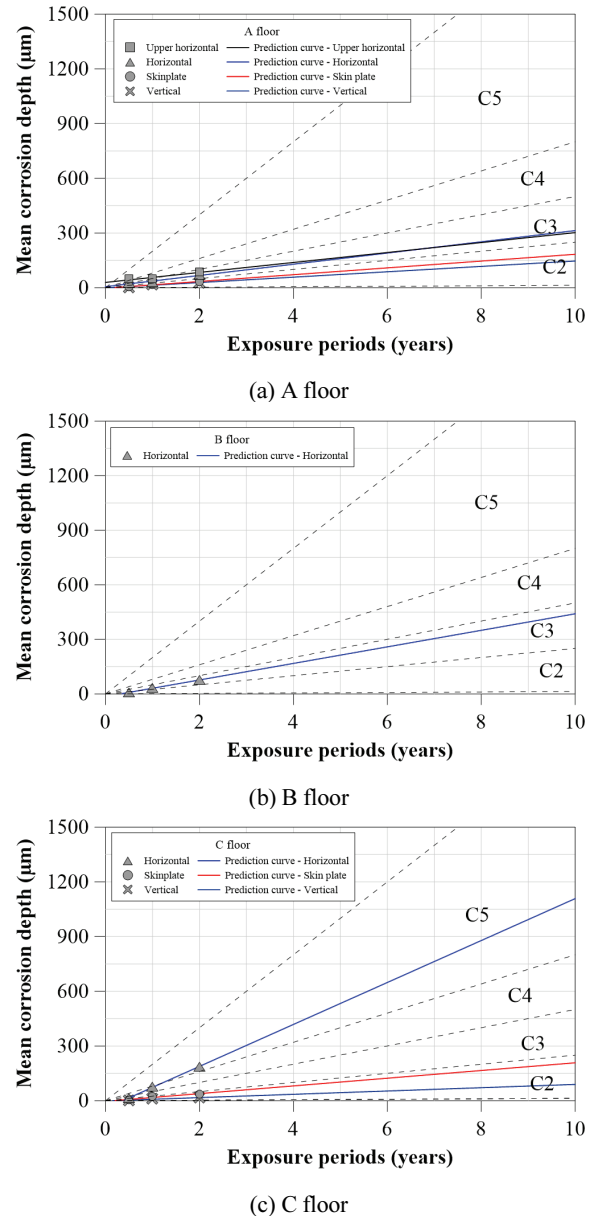
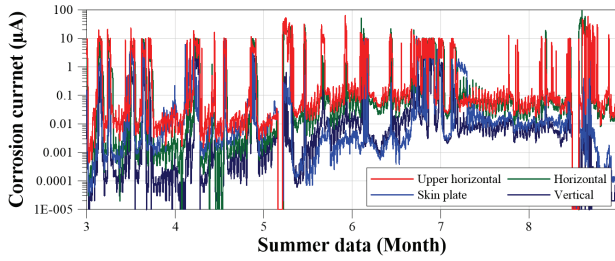


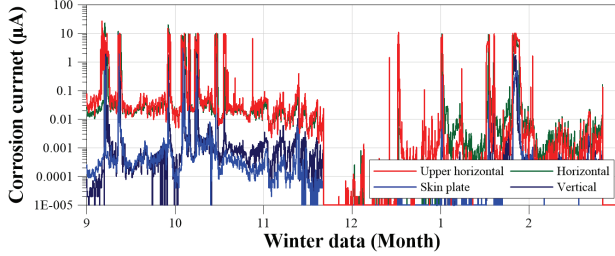
Fig. 5 Mean corrosion depth estimation of each monitoring floor

수록 평균부식두께 또한 높게 평가되어 갈바닉 부식전류량과 평균부식두께는 비례관계에 있는 것을 확인할 수 있다(Ahn et al., 2019).

대상 수문의 A층에 설치된 부식환경측정 센서로부터 측정된 갈바닉 부식전류량으로부터 부식환경센서 설치 위치별 월별 일평균 전하량을 Fig. 7에 나타내었다. 부식전하량은 부식이 진행됨에 따라 갈바닉 부식전류량이 증가하고 축적되며 측정된 갈바닉 부식전류량으로부터 Eq. (1)과 같이 환산하여 계산 하였으며, 부식전하량은 1년 동안 누적된 갈바닉 부식전류량이 매년 동일하다고 가정하여 산출하였다(Mizuno et al., 2014). 부식전하량 산출결과 5~8월에 측정되는 값이 다른 노



(a) Summer season data(March ~ August, 2018)



(b) Winter season data (September 2017 ~ February, 2018)

Fig. 6 Measuring results of galvanic corrosion current

Table 3 Average temperature and relative humidity(Jeon et al., 2019)

	Temperature (°C)	Relative humidity (%)
General environment	15.1	63.7
Target water gate	15.1	74.8

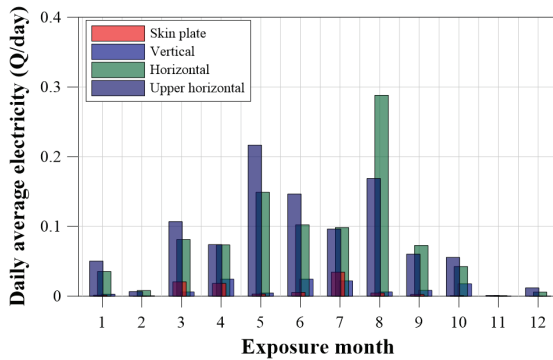


Fig. 7 Measuring results of average electricity

출기간과 비교하였을 때 상대적으로 높게 예측되는 것을 알 수 있다. 따라서 5~8월에 대상 수문의 부식손상이 상대적으로 급격히 발생할 수 있음을 알 수 있으며, 또한 부식환경센서를 설치한 부재별 월별 일평균 전하량 또한 앞에서 나타난 평균 부식두께 결과와 같이 유사하게 나타나고 있으므로 동일한 노출기간과 강재의 구조물이라도 부재별로 상이한 국부적 부식환경에 노출되는 경우 부식전하량이 차이가 크게 나타날 수 있음을 확인할 수 있다.

$$Q = \frac{\sum A \cdot t}{day} \quad (1)$$

4.2 갈바닉 부식전류량을 통한 부식량 예측

강재 수문의 향후 부식정도를 예측하기 위하여 부식환경측정 센서로부터 계측된 갈바닉 부식전류량으로 부식정도를 예측하는 로그함수 추정법을 이용하여 부식량을 예측하였다. 로그함수 추정법을 이용하여 부식량을 예측하는 방법은 부재별 평균부식두께와 누적된 갈바닉 부식전류량을 통하여 산출된 부식전하량의 상관관계에 대한 Eq. (2)와 같은 로그함수 추세를 도출하였다(Ahn et al., 2019). 갈바닉 부식전류량을 통한 부식량 예측은 대상 수문의 부재별 갈바닉 부식전류와 부재별 평균부식두께의 상관관계를 이용하여 실제 부식손상량과 갈바닉 전류의 관계를 통하여 향후 발생할 수 있는 부식손상량을 예측하는 방법이다(Ahn et al., 2019). Fig. 8과 같이 로그함수식을 도출하였으며, 각 추세를 상부 수평부재 Eq. (3), A층 수평부재 Eq. (4), A층 스킨플레이트 Eq. (5), A층 수직부재 Eq. (6)으로 나타내었다.

$$d_{mean} = A \cdot \text{Log } Q + B \quad (2)$$

$$d_{mean} = 56.381 \cdot \text{Log } Q - 24.886 \quad (3)$$

$$d_{mean} = 83.944 \cdot \text{Log } Q - 92.097 \quad (4)$$

$$d_{mean} = 19.199 \cdot \text{Log } Q + 10.885 \quad (5)$$

$$d_{mean} = 16.801 \cdot \text{Log } Q + 14.53 \quad (6)$$

도출된 로그함수 추세를 통하여 예측한 강재 수문의 부재별 향후 30년 부식량을 예측하여 Fig. 9와 Table 4에 나타내었다. 부식속도가 가장 빠른 상부수평부재의 부식량을 예측한 결과 30년 후에 부식량이 145.29 µm까지 증가하는 것을 알 수 있으며, 수평부재의 경우 163.69 µm까지 증가하는 것을 알 수 있다. 부식 초기엔 상부수평부재의 부식량이 가장 높게 예측되었지만, 시간이 지날수록 안정화되어 수평부재의 부식량이 상부수평부재보다 많은 부식량이 예측되는 것을 알 수 있다. 수직부재와 스킨플레이트의 경우 부식량이 30년 후에 34.67 µm, 47.96 µm까지 증가하는 것을 알 수 있다.

향후 30년의 부식량을 예측한 결과 같은 구조물의 부식량 일지라도 부식량의 차이가 약 110 µm정도 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 로그함수 추세식으로 부식량을 예측한 결과 A층의 평균부식두께와 갈바닉 부식전류량과의 상관관

계를 통하여 향후 부식량을 예측한 결과 실제 대기노출실험을 통하여 평가된 평균부식두께를 이용하여 부식량을 예측한 결과와 유사한 결과가 나타났다.

4.3 부식량 예측 및 부식량 평가 결과 물러게이트 형식 수문의 부식손상 관리

강재 수문에 적용되는 여유두께는 Table 5과 같이 담수의

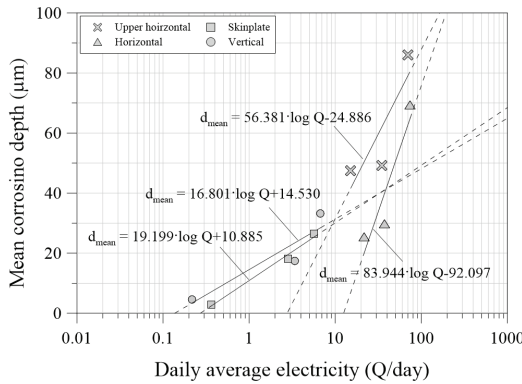


Fig. 8 Correlation of mean corrosion depth and daily average electricity

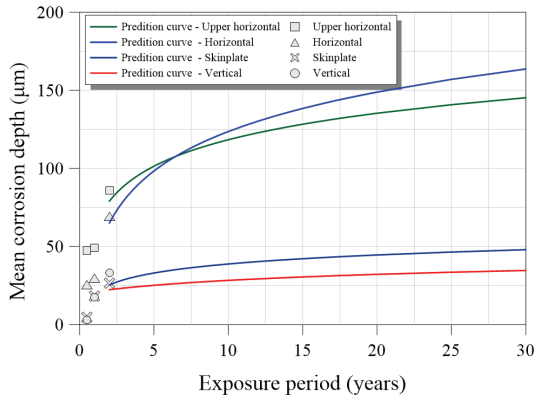


Fig. 9 Prediction curve of mean corrosion depth using corrosion current

Table 4 Prediction results of corrosion amount

	Exposure period (years)	Mean corrosion depth(μm)
Upper horizontal	5	101.42
	10	118.39
	30	145.29
Horizontal	5	98.38
	10	123.65
	30	163.69
Skinplate	5	33.02
	10	38.79
	30	47.96
Vertical	5	25.15
	10	28.29
	30	34.67

상시 접수 시에는 단면 접수 1.0 mm, 양면 접수 2.0 mm, 상시 접수하지 않을 때에는 단면 접수 0.5 mm, 양면 접수 1.0 mm의 여유두께를 부여하여 설계하고 있다(Kim et al., 2015). 본 연구의 대상 강재 수문은 담수가 상시 접수하지 않는 환경에 설치되어 있으며, 대상 수문의 수평부재와 최상부 수평부재의 평균부식두께 평가 결과와 같이 상대적 부식손상량이 일정하게 증가하는 경우 Fig. 5에 나타난 것과 같이 10년 이후의 대상 부재의 부식손상량은 수문부재의 여유두께에 영향을 줄 수 있는 수준으로 판단된다. 대상 수문 A층에서 평균부식두께와 갈바니 부식전류량과의 상관관계를 통하여 검토된 평균 부식두께의 예측 결과의 경우 대상 수문의 부식발생 속도가 상대적으로 안정화되는 경우로 이러한 경우 대상 수문은 충분한 여유두께를 가질 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 강재 부식의 속도는 부식환경 조건에 따라 변화할 수 있으므로 실제 강재 노출 실험결과에 따른 부식속도의 예측결과와 갈바니 부식전류량을 통하여 예측된 부식속도의 결과를 지속적으로 비교할 필요가 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 대상 수문은 Fig. 10과 같이 배수를 위하여 중간 부분에 큰 구멍을 뚫어 자체적인 배수시설을 확보하고 스킨 플레이트 부재와 다른 부재들의 접합부에 용접을 실시하여 구조물을 시공하였다. 평균부식두께가 선형적으로 증가한다고 가정하여 대상 부재별 향후 10년 후의 부식손상량을 예측하면 B층 수평부재의 경우 부식 손상 두께가 약 450 μm까지 나타날 수 있으며, C층의 경우 약 1,000 μm까지 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 수문의 가로보 부재 중앙부에 홀을 설치하여 배수기능을 확보할 수 있도록 하였으나 강우 등에 의하

Table 5 Margin thickness of water gate(Kim et al., 2015)

	Be always in contact water		Be not always contact water	
	One side water contact	Double side water contact	One side water contact	Double side water contact
Fresh water	1.0 mm	2.0 mm	0.5 mm	1.0 mm
Sea water	1.5 mm	3.0 mm	1.0 mm	2.0 mm

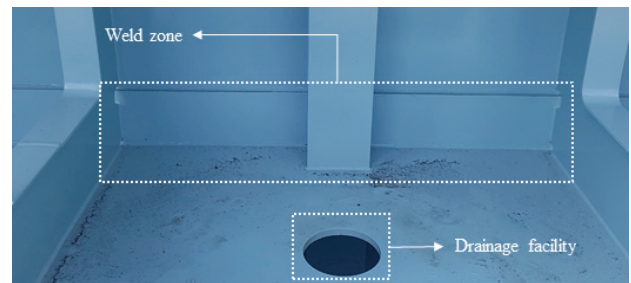


Fig. 10 Detail of cross beam of target water gate

여 가로보 부재에 잔류하게 되는 물의 배수가 원활하게 이루어지지 않아 다른 부재와 비교하여 부재의 지속적인 침수가 발생하여 부식손상량이 급격히 증가하는 것으로 판단된다. 수문의 경우 도장을 통하여 내부식성을 확보하고 있으나 재도장과정이나 운영 중 국부적 도장손상이 발생할 경우 부재별로 상이한 부식환경 차이에 따라 급격한 부식손상이 발생할 수 있으므로 상대적으로 부식손상이 급격히 발생할 수 있는 가로보의 경우 배수의 원활함을 위한 구조적인 개선이나 추가적인 배수 홈의 설치 등을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 롤러게이트형식의 강제 수문을 대상으로 강제 수문의 높이와 수문부재의 형상 등에 따른 상대적 부식손상 수준과 부식환경 차이를 평가하기 위하여 대기노출실험을 실시하였다. 노출기간에 따라 모니터링 시험체의 평균부식두께를 측정하고 모니터링 시험체와 부식환경측정 센서를 함께 설치하여 부식량을 평가하였다. 평균부식두께를 측정한 결과 상부수평부재와 수평부재의 경우 대기에 노출된 초기는 온도와 습도가 높은 하절기에 실험을 시작하였기 때문에 부식이 급격하게 진행된 것을 확인할 수 있다. 또한 구조적 설치 형상에 따라 상대적인 부식환경이 상이함에 따라 부재별 평균부식두께의 차이가 발생하여 부식량이 가장 많은 수평부재와 부식량이 가장 적은 수직부재와 비교하였을 때 그 차이가 10배까지 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 동일한 형상의 부재라 하더라도 본 연구에서 검토된 수문의 최하층 수평부재의 경우 배수의 문제로 모니터링 시험체의 부식량이 186 μm 까지 발생하였다. 부식속도가 일정하다고 가정하여 평균부식두께와 시간과의 상관관계를 통하여 향후 10년의 부식량을 예측한 결과 대상 수문의 중간층 수평부재의 경우 부식량이 약 450 μm 까지 증가하는 것으로 나타났고, 최하층의 수평부재는 경우 부식량이 약 1,000 μm 까지 나타날 수 있음을 알 수 있었다. 상대적으로 대상 수문의 최상층 수평부재의 경우 다른 부재들과 달리 상대적으로 발생 부식손상량이 작게 나타났다.

대상 수문의 최상층에 대하여 갈바닉 부식전류량과 평균부식두께의 상관관계를 이용하여 로그합수 추세식을 도출하여 부식량을 예측한 결과 수평부재의 경우 향후 30년의 부식량이 163.69 μm 로 예측되었으며, 수직부재와 비교하면 부식량의 차이가 약 110 μm 나타나는 것을 알 수 있었으며 부재에 따라 그 부식손상량의 차이가 크게 발생할 수 있음을 알 수 있다.

본 연구 결과를 통하여 강제 수문의 구조적 설치 형상에 따

른 부식량을 평가한 결과 같은 구조물이지만 부식 환경에 따라 부식속도가 차이남을 알 수 있다. 특히 강제 수문의 경우 부식발생에 대한 유지관리가 제대로 이루어지지 않고 상대적으로 부식환경이 열악한 부재가 발생한다면 국부적으로 급격한 부식손상이 발생할 수 있는 부재가 나타날 수 있을 것이므로, 수문의 국부적 부식환경의 검토와 향후 발생할 수 있는 부식량을 예측 및 평가할 필요가 있을 것이다. 또한 현재 롤러게이트형식의 강제 수문의 경우 가로보에 대하여 배수시설을 설치하고 있으나 국부적으로 배수시설의 기능이 부족한 경우 수문구조물의 내구성에 영향을 줄 수 있으므로 수문 부재의 안정적인 유지관리 방법으로 가로보 부재의 구조적인 개선이나 최하층 부재에 대한 원활한 배수방안을 제시할 필요가 있을 것이다.

감사의 글

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

References

1. Jeong, Y. S., Lee, Y. B., Kim, K. H., Park, K. T., Ahn, J. H. (2017), Evaluation of Coating Life for Effective Maintenance on Drainage Gate, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 17(3), 217-223.
2. K-water. (2013), A Study on Improvement of Structural Stability of Dams and Facility of a Water Gate, *Publication of K-water*.
3. Lee, C. J., Kim, D. G., Kim, J. S. (2019), Dataset of Long-term Monitoring on the Change in Hydrology, Channel Morphology, Landscape and Vegetation Along the Naeseong Stream (I), *Ecology and Resilient Infrastructure*, 6(1), 23-33.
4. Lee, C. J., Kim D. G., Hwang, S. Y., Kim, Y. J. (2019), Dataset of Long-term Monitoring on the Change in Hydrology, Channel Morphology, Landscape and Vegetation Along the Naeseong Stream (II), *Ecology and Resilient Infrastructure*, 6(1), 34-48.
5. Bea, J. J., Kim, H. S., Kim, Y. S., Lee, J. H. (2009), Earthquake Analysis of Dam Floodgate Using Calibrated Added Mass, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 13(5), 31-40.
6. Lee, Y. B., Jeong, Y. S., Seong, T. R., Ahn, J. H. (2018), Estimation of Mean Corrosion Depth of Structural Steel Using Thickness of Corrosion Products, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 30(3), 153-161.
7. Ahn, J. H., Jeon, S. H., Seong, T. R., Jeong, Y. S. (2019), Estimation of Corrosion Damage Rate Using Corrosion Current Depending on Atmospheric Corrosion Environment, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 31(4), 253-260.

8. Jeon, S. H., Ha, M. G., Jeong, Y. S., Ahn, J. H. (2019), Evaluation of Corrosion Damage of Structural Steel Depending on Atmospheric Exposure Test, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 31(4), 245-252.
9. Park, J. C. (2015), Stability Analysis of Steel Water Gate, Master thesis, Jeonju University.
10. KS D ISO 3502 (2016), Rolled steels for bridges structure.
11. KS D ISO 8407 (2014), Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion product from corrosion test specimens.
12. KS D ISO 9223 (2015), Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification.
13. Mizuno, D., Suzuki, S., Fujita, S., Hara, N. (2014), Corrosion Monitoring and Materials Selection for Automotive Environments by Using Atmospheric Corrosion Monitor (ACM) sensor, *Corrosion Science*, 83, 217-225.
14. Ahn, J. H., Jeong, Y. S., Kim, I. T., Jeon, S. H., Park, C. H. (2019), A Method for Estimating Time-Dependent Corrosion Depth of Carbon and Weathering Steel Using an Atmospheric Corrosion Monitor Sensor, *Sensors*, 19(6), 1416.
15. Kim, S. G., Yoon, G. S., Kang, T. W., Yeo D. H., Kim, J. S., Song, S. M. (2015), Study on the Prediction Method of Steel Water Gate Residual Life, *Yooshin Engineering Corporation*, 22, 247-274.

Received : 09/19/2019

Revised : 12/20/2019

Accepted : 12/30/2019

요 지 : 강재로 제작된 구조물의 부식량은 설치형태에 따라 상이하게 나타나므로 그에 따른 효율적인 관리가 필요하다. 본 연구에서는 강제 수문의 설치형태와 높이에 따른 부식량과 부식속도를 평가하기 위하여 설치형태와 높이에 따라 모니터링 시험체와 부식환경측정 센서를 설치하여 대기노출실험을 실시하였다. 노출기간에 따라 모니터링 시험체를 회수하여 중량감소법으로 평가된 평균부식두께와 부식환경측정 센서를 통하여 계측된 갈바닉 부식전류량과의 상관관계를 이용하여 강제 수문의 설치형태와 높이에 따른 향후 부식량을 예측하였다. 본 연구 결과 수문의 가로보 수평부재는 상대적으로 가로보 스킨플레이트 부재 등의 부식손상량과 비교하면 매우 크게 발생하고 있으며, 수문 부재의 국부적 환경에 따라 부식속도가 크게 영향을 받을 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 강제 수문의 국부적 부식환경 차이에 따른 부식손상 수준을 고려한 수문의 적절한 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 강제 수문, 가로보, 대기노출실험, 평균부식두께, 갈바닉 부식전류량, 부식손상량
