



편심 및 균열을 가진 프리스트레싱 텐던 구조체의 부식특성

권성준^{1)*} · 고경택²⁾ · 류금성³⁾ · 류화성⁴⁾

¹⁾한남대학교 토목환경공학과 교수 ²⁾한국건설기술연구원 연구위원 ³⁾한국건설기술연구원 수석 연구원 ⁴⁾한양 ENC 대표이사

Corrosion Characteristics in Prestressing Tendon System with Eccentricity and Cracks

Seung-Jun Kwon,^{1)*} Kyung-Taek Koh,²⁾ Gum-Sung Ryu,³⁾ and Hwa-Sung Ryu⁴⁾

¹⁾Professor, Dept. of Civil and Environment Engineering, Hannam University, Daejeon 34430, Rep. of Korea

²⁾Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Rep. of Korea

³⁾Chief Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Rep. of Korea

⁴⁾President, Hanyang Experiment and Consulting Co., Ansan 15588, Rep. of Korea

ABSTRACT PS (Prestressing) tendon in a PSC (Pre-Stressed Concrete) structure is always subjected to high tensile stress and it causes corrosion-related problems. Particularly, insufficient compaction of grout and de-icing agent from upper girder can accelerate tendon corrosion, and this propagates to tendon break and critical safety problem in PSC structures. In the work, PS tendon systems are prepared and corrosion acceleration is performed using ICM (Impressed Current Method) for 4 days considering 2 types of grout (A-type which is conventionally used and B-type which has a reduced w/c ratio and silica fume addition). For 2 grout types, corrosion amounts are evaluated considering various conditions like bleeding area, cracks, and tendon eccentricity. In the case of tendon eccentricity, both grout systems show similar increasing corrosion, however B-type grout system shows much reduced corrosion in the crack and bleeding conditions. It is also evaluated that a careful maintenance is strongly required in the bleeding and cracked grout area since corrosion amount increase to 3.25~5.14 times in the vulnerable grout area of bleeding and cracks in the corrosive conditions.

Keywords : ps tendon, corrosion, ICM (Impressed Current Method), grout, bleeding, crack

1. 서 론

대형구조물에 사용되는 PSC(Pre-Stressed Concrete) 구조는 자중을 줄이고 균열에 대하여 전단면을 공학적으로 유효하게 사용할 수 있으므로 1960년대 이후 많이 사용되고 있다(Akgul and Frangopol 2004; National Standard of Canada 2000). 특히 Post-tension 된 구조의 경우 부모멘트에 쉽게 저항할 수 있으며 공기를 빠르게 단축시킬 수 있으므로 대부분의 대형 교량에 적용되고 있는 실정이다(PCI 1997; Zhou et al. 2009).

콘크리트 내부에 매립된 PS 텐던의 경우 일반적으로 부식에 대해 안전하다고 고려되고 있으나, 외부에 노출된 플라스틱 덕트 내의 텐던의 경우 부식에 대한 위험이 꾸준히 보고되고 있다(Kim et al. 2016; Dai et al. 2015; Podolny Jr, 1992;

Shuxian et al. 2017). 주된 원인은 1) 덕트의 파손과 산소 및 수분 유입으로 인한 부식, 2) 상부로부터의 정착구를 통한 제설제 유입, 3) 그라우트 미주입부에 따른 텐던 부식 등으로 요약할 수 있다. 또한 국내에서도 2000년대 이후 몇 개의 교량에서 텐던의 부식이 문제되어 이를 규명하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

텐던의 부식이 일반 RC(Reinforced Concrete) 내의 철근보다 중요한 이유는 항상 고인장 상태에 노출되기 때문이다. 텐던의 경우 60% 이상의 높은 유효율을 가지고 인장응력을 항상 받고 있는데, 동일한 전위차를 가지고 있을 경우, 비저항이 감소하여 부식전류가 증가하고 이로 인해 부식속도가 빨라지기 때문이다(Lee et al. 2017; Li et al. 2011). 특히 덕트 및 쉬스의 파손으로 산소와 수분이 유입될 경우 이러한 부식은 큰 안전상의 문제로 연결될 수 있다. 또한 보수작업에 사용된 그라우트의 품질과 그라우트 내의 황이온의 영향 등이 텐던 부식 문제와 연결되면서 그라우트 품질의 중요성도 높아지고 있다(Permeh et al. 2015; Powers, 1999; Pradhan, 2014; Lee and James, 2014).

*Corresponding author E-mail : jjuni98@hannam.ac.kr

Received March 16, 2018, Revised May 5, 2018,

Accepted July 10, 2018

©2018 by Korea Concrete Institute

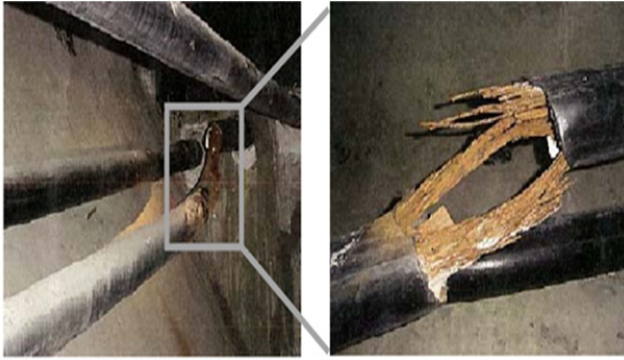


Fig. 1 Tendon break with corrosion (Varina-Enon Bridge)

PSC구조의 텐던 부식을 비파괴적으로 평가하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있으나, 주로 전기-화학센서 구성을 통하여 부식전류밀도 및 부식전위를 평가하고 있다. 일부 적외선이나 AE(Acoustic Emission)와 같은 비파괴 장비를 이용하여 부식을 감지하려는 시도가 있으나 활발하게 사용되고 있지 못하다(Youn et al. 2005; Clemena and Mckeel, 1978; Beak et al. 2012). 이는 덕트 내의 텐던이 일정하게 진행되는 것이 아니라 꼬여서 진행하고 있으며 많은 수의 텐던이 덕트 내에 설치되어 명확한 부식발생지역을 평가하기도 어렵기 때문이다(Youn et al. 2005). Fig. 1에서는 주요한 PS 텐던의 부식파괴사례를 나타내고 있다.

본 연구에서는 0.45 및 0.30의 물-결합재비를 가지는 두 가지 그라우트를 대상으로 편심과 균열이 있는 PS 텐던 시스템을 제작하였으며, ICM(Impressed Current Method)을 적용하여 촉진부식을 96시간 동안 수행하였다. 또한 1,000 mm의 텐던 구조체의 블리딩부인 상부와 충전부인 하부의 그라우트 특성을 고려하여 PS 텐던의 부식특성을 분석하였다. 그라우트의 특성과 텐던의 상태에 따른 부식 특성이 본 연구를 통하여 정량적으로 고찰될 것이다.

2. 편심 및 균열을 가진 PS 텐던 구조체의 제작

2.1 실험의 개요

본 연구에서는 1,000 mm PS 텐던-그라우트 시스템을 제작하고 하부로부터 그라우트를 주입하였다. 28일 양생 후 상부 및 하부를 높이 200 mm 절단하여 텐던이 노출된 시편을 준비하였다. 또한 지름 100 mm의 투명 플라스틱 덕트 내부에 중심부 텐던 및 편심부 텐던을 설치하였으며 촉진부식 후의 부식전류와 부식량을 평가하였다. 중심부 텐던 시스템에서는 인장하중을 가하여 균열을 유도한 시편을 제작하였으며 동일한 촉진 부식환경에서의 부식량을 평가하였다. Table 1에서는 실험개요를 Table 2에서는 실험 변수를 나타내었다. 또한 Fig. 2에서는 텐던 시스템의 제원을 나타내고 있다.

Table 1 Outline of test program

Order	Test	Related Photo
1	2 Types of group	
2	Tendon system preparation (Center and eccentricity)	
3	Crack inducing	
4	Cutting to 200 mm of height and epoxy coating for bottom surface	
6	Samples for corrosion test	
7	Accelerating of corrosion-ICM	

Table 2 Accelerated corrosion cases for the test

Grout type	No of Case	Condition of grout	Presence of cracks	Location of tendon
A	1	Bleeding	x	center
		Sounding	x	center
	2	Bleeding	o	center
		Sounding	o	center
	3	Bleeding	x	side
		Sounding	x	side
	4	Bleeding	x	side
		Sounding	x	side
B	5	Bleeding	x	center
		Sounding	x	center
	6	Bleeding	o	center
		Sounding	o	center
	7	Bleeding	x	side
		Sounding	x	side
	8	Bleeding	x	side
		Sounding	x	side

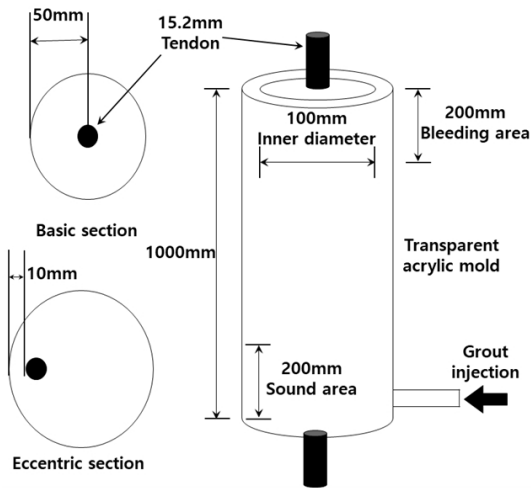


Fig. 2 Geometry of PS tendon system

2.2 사용 그라우트

실험 대상 그라우트는 일반 그라우트(grout A)와 실리카 폼을 혼합한 그라우트(grout B) 두 가지를 고려하였다. Table 3에서는 사용된 그라우트 배합표를 나타내고 있으며 사용 혼합체의 특성을 Table 4에 나타내었다.

또한 텐던은 지름 15.2 mm의 7연선을 사용하였으며, 총

Table 3 Types of grout used (Ryu et al. 2018)

Type	W/C	Binder (%)		Admixture (× Binder %)
		OPC	SF	
A	0.45	100		Expansion agent 1.0 %
B	0.30	90	10	Super-plasticizer 0.3 %
				Viscosity agent 0.1 %

Table 4 Properties of chemical admixtures used

Type	Ingredient	Appearance	Specific gravity (20 °C)	Viscosity (mPa·s)	Normal dosage (C × %)
Expans-ion agent	Calcium sulfoaluminate (CSA)	Light ash	2.98	-	3.5~10
	Aluminum powder	Silver gray	1.20	-	0.1
Super plasticizer	Polycarboxylate	Dark brown, Liquid	1.04	15.0	0.5~3.0
	Naphthalene	Dark brown, Liquid	11.15	15.0	0.5~1.0
	Melamine	Yellow, Liquid	1.08	5.0	1.0~3.0
Viscosity agent	Methyl cellulose	Yellow, Liquid	1.01	125.0	0.5~2.0
	Polyethylene oxide	Yellow, Liquid	1.00	5.0	0.1~1.5

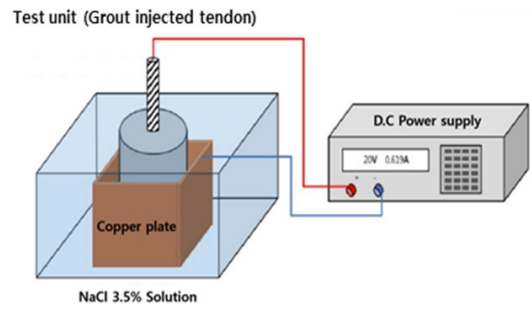


Fig. 3 Schematic diagram for ICM(Corrosion acceleration)

단면적은 138.7 mm², 인장강도는 271.8 kN, 탄성계수는 204.9 GPa의 제품을 사용하였다.

2.3 Impressed Current Method

외부의 구리전극과 그라우트 내의 텐던을 양극으로 하여 전류가 통할 수 있도록 전압을 인가하였다. 일반적으로 ICM (Impressed Current Method)이라 불리는 이 방법은 매우 빠른 기간에 부식을 촉진시키므로 구조물의 내력저하 또는 비파괴 검증 실험 등에 많이 사용되고 있다(Sakurada et al. 2008; Baek et al. 2012). 그라우트 주입 3일 후 덕트를 제거하였으며, 4주간 양생한 텐던 시스템에 대하여 ICM를 적용하였다. 염해환경을 모사하기 위해 3.5% NaCl 수용액을 적용하였으며, 24시간 동안 미리 침지를 시켜 초기 부식전압 인가 시에 충분히 전류가 통할 수 있도록 조치하였다. 전압은 20 V의 전압을 사용하였으며, 균등한 부식유발을 위해서 구리판을 원형 시편의 주위에 설치하였다. 기존의 연구에서도 구리판을 주위에 배치시킨 경우 부식이 국소부식(Local corrosion) 보다 강제 전해에 부식이 됨을 확인할 수 있었으므로, 이러한 방법을 부식을 촉진하였다(Lee et al. 2017). 부식량의 증가는 이온의 교환을 고려한 Faraday법칙을 통하여 계산할 수 있다. 식 (1)에서는 Faraday법칙을 나타내었는데, 일반적으로 실험기간에 선형적인 부식량을 나타낸다.

Fig. 3에서는 본 연구에서 적용한 ICM의 개요도를 나타내고 있다.

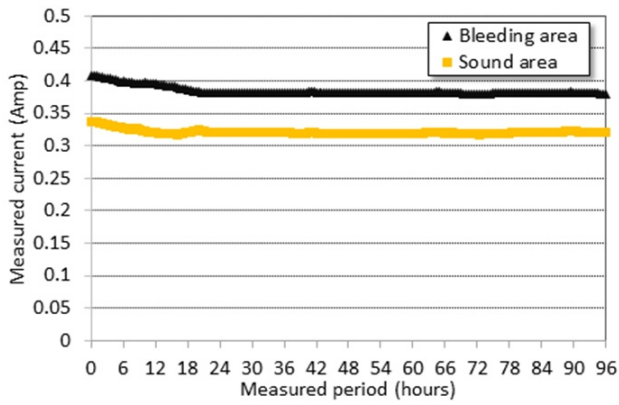
$$M = \frac{c}{zF} \int q dt \quad (1)$$

여기서, M 은 부식량(mol), z 는 철의 이온 수(=2), F 는 Faraday의 수(=96,500 C), q 는 전류(A), t 는 측정시간(sec), c 는 실험 상수이다. 위 식으로 구한 부식량(mol)에 철의 분자량(55.845 g)을 곱하면 g단위의 부식량을 얻을 수 있다.

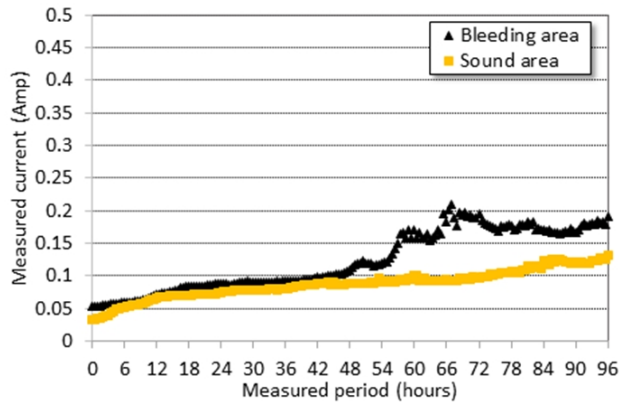
3. 그라우트 및 텐던위치에 따른 부식량 평가

3.1 볼리딩부 및 건전부 그라우트에 따른 부식특성 평가

두 개의 그라우트에 대하여 건전부인 저면 0~200 mm와



(a) grout A



(b) grout B

Fig. 4 Current for bleeding and sound grout

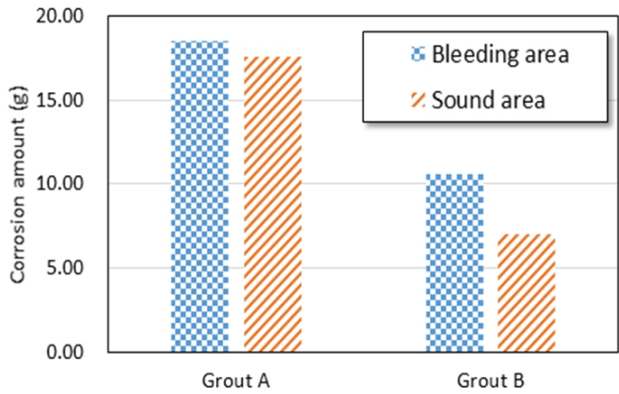


Fig. 5 Corrosion amount with grout location and types

블리딩부인 상단면 800 mm~1,000 mm인 두 가지 조건에 대하여 부식전류량을 분석하면 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있으며, 부식량을 도출하면 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 텐던의 위치는 중심에 있으며, 그라우트의 물-결합재비와 위치에 따른 부식량의 변화를 도시한 것이다. 블리딩부의 경우, grout A에서는 18.52 g, grout B에서는 10.63 g 이 발생하였으며, 건전부의 경우, grout A에서 17.58 g, grout B에서는 7.0 g 이 발생하였다. 건전부와 비교할 때 블리딩부에서는 grout A에서 5.3%, grout B에서 51.9% 증가하였는데, 이는 동일한 그라우트 품질이라도 위치에 따라 부식에 대한 저항성이 크게 달라지고 있음을 보여준다. 이러한 블리딩부



Fig. 6 Photo for bleeding of grout A (W/C 0.45)



Fig. 7 Photos for jacking and crack width measurement

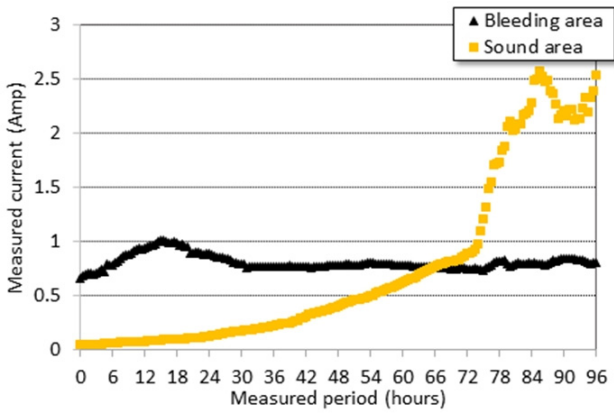
의 품질 문제는 많은 연구에서 지적되어왔는데(Podolny Jr 1992; Kingsley 2016; Michael 2017). 블리딩수가 비교적 많이 측정된 grout A의 사진을 Fig. 6에 나타내었다.

3.2 균열을 가진 그라우트의 부식특성 평가

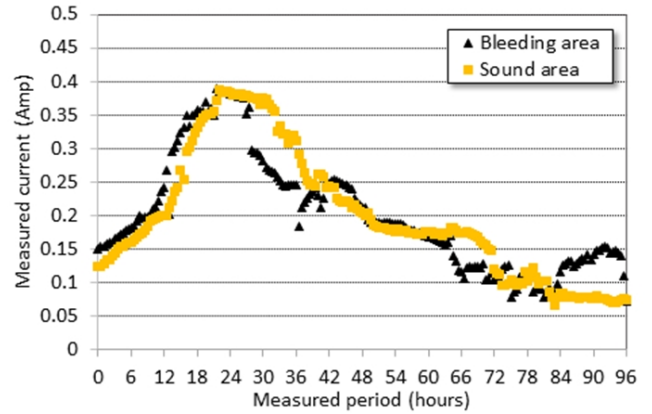
중양에 텐던이 존치된 경우를 기준으로 전체 1,000 mm의 양단에 500 mm의 텐던을 도출시키고 그림으로 고정된 후 텐던 구조체에 인장력 1.5 tonf를 가하였다. 인장력 재하 시 균열 폭은 0.3~1.0 mm로 커졌지만 재하 시 텐던의 탄성 회복으로 인해 균열 폭이 0.1 mm 수준으로 감소하였다.

Fig. 7에서는 로드셀을 설치 후 오일잭을 이용하여 인장하중을 가력하는 사진과 재하 후 균열 폭을 측정하는 사진을 나타내었다. 또한 Fig. 8 및 Fig. 9에서는 측정된 전류값 및 부식량을 나타내고 있다.

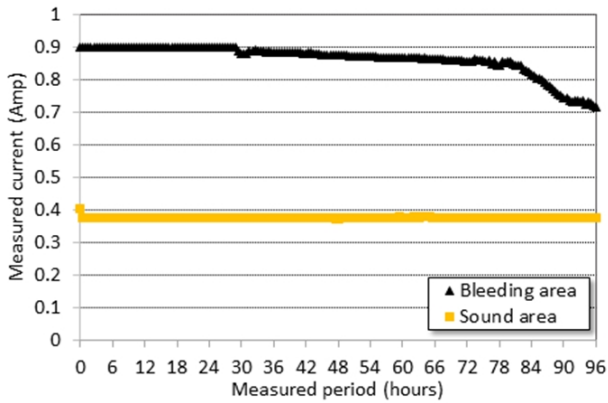
Fig. 8(a)에서 전압 인가 후반 부에는 오히려 건전부에서 블리딩부보다 높은 전류량이 나타났는데 이는 전압 인가 중 균열폭내의 국부적인 환경변화에 기인한다. 부식생성물이 직접적인 인공해수의 유입을 방해하지만, 탈락될 경우 부식전류는 크게 증가한다. 균열폭내의 국부적인 환경과 이에 따른 부식량의 평가는 시편의 수를 더욱 늘려 평균값을 사용하는 것이 바람직하다. Fig. 9와 같이 건전부와 블리딩부를 비교할 경우, grout A에서는 57.07 g에서 65.47 g으로 부식량이 증가하였으며, grout B에서는 21.17 g에서 54.65 g으로 증가하였다. 증가율은 각각 14.7%와 101.1%로 평가되었는데, 균열이 발생할 경우 고품질 grout B에서도 부식증가율이 크게 평가되었다. 이는 고품질 그라우트를 사용했다 하더라도 균열이 발생한 경우 상대적인 부식 비율이 크게 증가한 것으



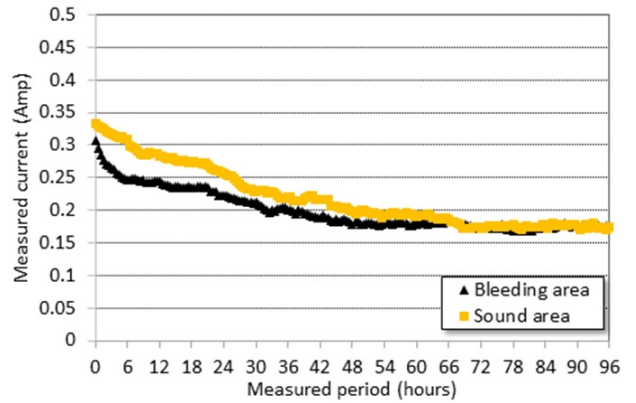
(a) grout A



(a) grout A



(b) grout B



(b) grout B

Fig. 8 Current for cracked grout (bleeding and sound grout)

Fig. 10 Current for different cover depth (bleeding and sound grout)

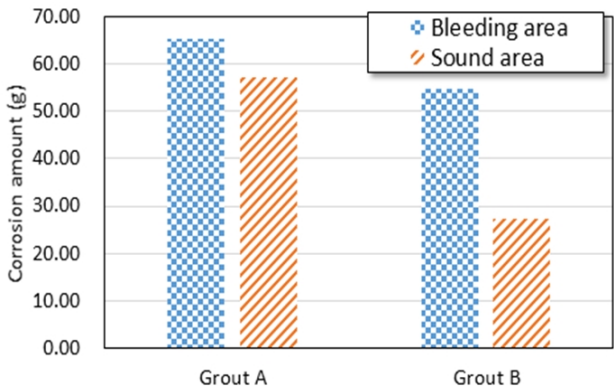


Fig. 9 Corrosion amount with cracked grout and types

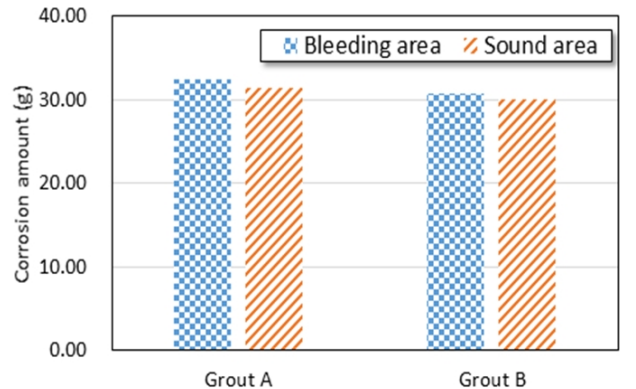


Fig. 11 Corrosion amount with cover depth and types

로 열화진전 연구에서도 같은 경향을 보인다(Song et al. 2005; Kwon and Na, 2011). Fig. 5와 비교하면 균열이 발생함에 따라 부식량이 약 3.25~5.14 배 증가함을 알 수 있다.

3.3 텐던의 위치에 따른 부식특성 평가

본 절에서는 편심을 가진 텐던 구조체의 부식량을 건전부 및 블리딩부로 분류하여 평가하였다. Fig. 10에서는 4일간의 부식전류 측정 결과를 나타내고 있으며, Fig. 11에서는 부식

량 평가결과를 블리딩부와 건전부로 분류하여 나타내었다.

Fig. 11과 같이 건전부와 블리딩을 비교 시, grout A에서는 31.49 g에서 32.41 g로 부식량이 증가하였으며, grout B에서는 30.06 g에서 30.77g로 증가하였다. 증가율은 큰 차이가 나타나지 않았는데 2.3~2.9 %로 거의 동일하게 평가되었다. 이는 피복두께가 매우 작은 10 mm의 경우 고품질 그라우트 특성이 반영되지 않았는데, 인가한 전압의 크기가 20 V로 매우 크기 때문이다. 전체적으로 비슷한 수준의 부식량으로 평가되었으며, Fig. 5의 결과와 비교하면 중앙에 텐던이 위치

Table 5 Summary of relative corrosion ratio (%)

	grout A	grout B
Bleeding area	264.6	151.9
Sound area	251.1	100.0
Bleeding area (crack)	935.3	780.7
Sound area (crack)	815.3	388.1
Bleeding area (eccentricity)	463.0	439.6
Sound area (eccentricity)	449.9	429.4

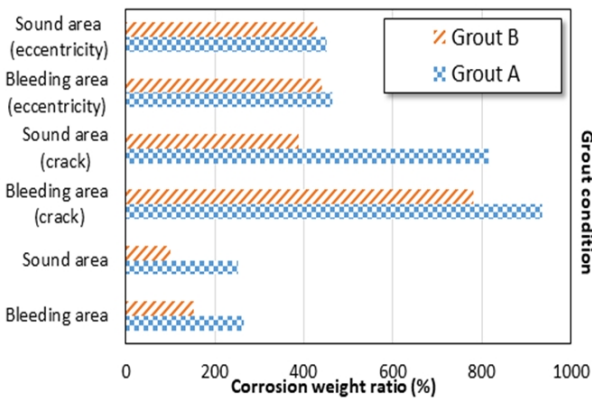


Fig. 12 Relative corrosion ratio with various conditions

한 경우보다 1.7~4.3 배정도 높은 부식량으로 평가되었다.

4. 기준조건에 대한 부식량의 비교

충분한 피복두께가 확보된 경우 grout B에서 부식전류를 감소시키는 주된 원인은 단위 결합재량의 증가에 따른 공극률 감소, 실리카폼 치환 혼입에 따른 염화물 흡착을 증가시키는 수화물량의 증가를 주된 원인으로 고려할 수 있다(Velu and Kwon, 2015). 또한 10% 치환한 실리카 폼의 경우 공극을 더욱 조밀하게 하며 추가적인 포졸란 반응을 예상할 수 있으므로 전류 값이 더욱 낮게 평가되었다(Song et al. 2006; Song et al. 2010).

건전부 그라우트를 대상으로 중앙에 텐던이 위치한 경우를 기준으로 하면 각 조건에 따른 부식량의 변화를 명확하게 평가할 수 있다. Table 5에서는 각 조건에 따른 중량비를 요약하였으며, 이를 Fig. 12에 나타내었다. 중량비 비교시 기준 값을 grout B의 sound area의 부식량으로 하였으므로 이 경우를 100%의 값을 나타내었다.

Fig. 12의 결과에서 알 수 있듯이, 비교적 낮은 품질의 그라우트(grout A)를 사용할 경우, 1.74~2.51 배 정도로 부식량이 증가하였다. 또한 균열이 발생한 경우에는 1.19~2.10 배의 부식이 증가하였으며, 편심을 적용시켜 피복두께가 확보되지 않은 경우는 약 1.05 배로 부식량이 증가하였다. 동일하게 고품질의 그라우트(grout B)를 사용했다 하더라도 부식조

건에 따라 부식량이 크게 변동하였다. 블리딩부에서는 1.51 배, 균열이 발생한 경우에는 3.88 배, 그리고 편심을 적용시켜 피복두께가 확보되지 않은 경우에는 4.29 배로 부식량이 증가함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 두 가지 그라우트(W/C 0.45, W/C 0.30 및 실리카폼 10% 치환 혼입)를 이용하여 PS 텐던 구조체를 제작하였으며, ICM을 이용하여 부식을 촉진하였다. 또한 편심, 균열, 블리딩부 등을 고려한 시편에 대하여 부식량을 정량적으로 평가하였다. 편심 및 균열을 가진 PS 텐던 구조체의 부식특성을 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 텐던이 중앙에 있는 경우, 물-결합재비를 낮추고 SF를 치환 혼입한 그라우트(grout B)에서는 부식량이 블리딩부에서 18.52 g에서 10.63 g으로, 건전부에서는 17.58 g에서 7.0 g으로 감소하였다. 이는 단위시멘트량의 증가에 따른 공극률의 감소 및 밀실한 구조가 주된 원인이다.
- 2) 텐던이 중앙에 위치하고 균열을 가진 시편의 경우 블리딩부와 건전부를 비교하면, grout A에서는 65.47 g에서 57.07 g으로, grout B에서는 54.65 g에서 27.17 g으로 감소하였다. 그러나 균열이 발생한 경우 부식량이 3 배 이상 증가하여 외부에 균열을 가진 PSC 구조가 염화물에 직접 노출될 경우 부식이 크게 증가함을 알 수 있다.
- 3) 텐던이 편심을 갖는 시편의 경우, grout B에서 부식량이 블리딩부에서는 32.41 g에서 30.77 g으로, 건전부에서는 31.49 g에서 30.06 g으로 다소 감소하였다. 피복두께가 적절하게 확보되지 않은 경우 고품질 그라우트의 특성이 반영되지 않아 부식량에 큰 차이가 나타나지 않았다.
- 4) 건전부 고품질 그라우트(grout B의 sound area)를 기준으로 했을 때, 피복두께가 확보되지 않은 경우 저품질의 그라우트에서 부식량이 약 1.05 배로 증가하였다. 또한 동일한 고품질의 그라우트를 사용했다 하더라도 블리딩부에서는 1.51 배, 균열이 발생한 경우에는 3.88 배, 그리고 피복두께가 확보되지 않은 경우에는 4.29 배로 부식량이 증가하였다. 텐던을 보호하는 덕트가 파손되어 외부로부터 체설체 등이 직접 유입될 경우 균열부나 블리딩부에서는 부식이 크게 진전되므로 이러한 특성을 고려한 유지관리가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설연구A02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Akgul, F. and Frangopol, D. M. (2004) Lifetime Performance Analysis of Existing Prestressed Concrete Bridge Superstructures, *ASCE Journal of Structural Engineering* 130(12), 1889-1903.
- Baek, S. H., Xue, W., Feng, M. Q., and Kwon, S. J. (2012) Nondestructive corrosion detection in RC through integrated heat induction and IR thermography, *Journal of Nondestructive Evaluation* 31(2), 181-190.
- Clemena, G. G. and McKeel, W. T. (1978) Detection of delamination in bridge decks with infrared thermography, *Transportation Research Record* 664, 25-85.
- Dai, L., Wang, L., Zhang, J., and Zhang, X. (2015) A global model for corrosion-induced cracking in prestressed concrete structures, *Engineering Failure Analysis* 62, 263-275.
- Kim, S. H., Choi, J. G., Ham, S. M., and Heo, W. H. (2016) Reliability evaluation of a PSC highway bridge based on resistance capacity degradation due to a corrosive environment, *Applied Sciences* 6(12), 423.
- Kingsley, L. (2016) *Corrosion of post-tensioned tendons with deficient grout*, Final report BDV29-977-04, FDOT Research Center.
- Kwon, S. J. and Na, U. J. (2011) Prediction of Durability for RC Columns with Crack and Joint under Carbonation Based on Probabilistic Approach, *International Journal of Concrete Structures and Materials* 5(1), 11-18.
- Lee, B. Y., Koh, K. T., Ismail, M. A., Ryu, H. S., and Kwon, S. J. (2017) Corrosion and Strength Behaviors in Prestressed Tendon under Various Tensile Stress and Impressed Current Conditions, *Advances in Materials Science and Engineering* 2017, 1-7.
- Lee, S. K. and James, Z. (2014) *An FHWA Special Study: Post-Tensioning Tendon Grout Chloride Thresholds*, FHWA-HRT-14-039.
- Li, F., Yuan, Y., and Li, C-Q. (2011) Corrosion propagation of prestressing steel strands in concrete subject to chloride attack, *Construction and Building Materials* 25(10), 3878-3885.
- Michael, S. (2017) Performance of Post-tensioned Bridges, *VTRC-Virginia Transportation Research Council, Technical Seminar*.
- National Standard of Canada (2000) Canadian highway bridge design code, CSA International, CAN/CSA-S6-00, Ontario, Canada.
- PCI (1997) *Precast/Prestressed Concrete Institute, Precast Prestressed Concrete Bridge Design Manual*, MNL-133-97, Chicago, IL 60606-6938.
- Permech, S., Krishna Vigneshwaran, N. K., Lau, K. Lasa, I., and Paredes, M. (2015) Material and Corrosion Evaluation of Deficient PT Grout with Enhanced Sulfate Concentrations, *NACE Corrosion 2015*, Paper no. 5828. NACE Int. Houston, TX.
- Podolny Jr, W. (1992) *Corrosion of prestressing steels and its mitigation*, Special Report, PCI Journal 37(5), 34-55.
- Powers, R. G. (1999) *Corrosion Evaluation of Post-Tensioned Tendons on the Niles Channel Bridge*, FDOT, Gainesville, FL.
- Pradhan, B. (2014) Corrosion behavior of steel reinforcement in concrete exposed to composite chloride-sulfate environment, *Construction and Building Materials* 72, 398-410.
- Ryu, H. S., Koh, K. T., and Kwon, S. J. (2018) Evaluation of Corrosion Resistance with Grout Type and Tendon, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection* (Submitted) (In Korean).
- Sakurada, S., Irie, H., and Yoshida, Y. (2008) Development of reinforced concrete corrosion amount presumption method by ultrasonic method, in *Proceedings of the 17th World Conference on Nondestructive Testing 2008*, Shanghai, China 1-6.
- Shuxian, H., Herbert, W., Rosemarie, H., Biqin, D., Peng, D., and Feng, X. (2017) Long-term monitoring of reinforcement corrosion in concrete using ground penetrating radar, *Corrosion Science* 114(1), 123-132.
- Song, H. W., Jang, J. C., Saraswathy, V., and Byun, K. J. (2006) An estimation of the diffusivity of silica fume concrete, *Building and Environment* 42(3), 1348-1354.
- Song, H. W., Kwon, S. J., Byun, K. J., and Park, C. K. (2005) Predicting carbonation in early-aged cracked concrete, *Cement and Concrete Research* 36(5), 979-989.
- Song, H. W., Pack, S. W., Nam, S. H., Jang, J. C., and Saraswathy, V. (2010) Estimation of the permeability of silica fume cement concrete, *Construction and Building Materials* 24(3), 315-321.
- Velu, S. and Kwon, S. J. (2015) Durability Performance Evaluation On Early-Aged Concrete with Rice Husk Ash and Silica Fume, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 27(4), 343-351(In Korean).
- Youn, S. G., Cho, S. K., and Kim, E. K. (2005) Acoustic emission technique for detection of corrosion-induced wire fracture, *Key Engineering Materials* 297-300, 2040-2045.
- Zhou, Z., He, J. P., Chen, G. D., and Ou, J. P. (2009) A smart steel strand for the evaluation of prestress loss distribution in post tensioned concrete structures, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* 20(16), 1901-1912.

요약 PS(Prestressing) 텐던은 항상 높은 인장응력을 받고 있으므로 부식에 관련된 문제를 가지고 있다. 특히 완벽한 충전이 안된 그라우트나 상부로부터 제설제가 유입되는 경우 텐던의 부식이 촉진되고 과탄으로 이어져서 구조물의 안전성에 큰 영향을 주게 된다. 본 연구에서는 일반 그라우트(grout A)와 물-시멘트비를 낮추고 실리카 폼을 첨가한 그라우트(grout B)를 대상으로 PS 텐던 시스템을 제작하였으며 ICM(Impressed Current Method)을 이용하여 4일간 부식을 촉진시켰다. 두 가지 PS 텐던 시스템에 대하여 블리딩부, 그라우트 균열부, 편심부 등을 고려하여 부식을 촉진시켰으며 부식량의 변화를 분석하였다. 편심을 가진 텐던의 경우 두 가지 그라우트에서의 부식량은 비슷한 수준으로 증가하였으며, 블리딩부와 균열부에서는 grout B에서 부식량이 크게 감소하였다. 부식환경에서 균열부와 블리딩부와 같은 취약부 그라우트는 부식이 약 3.25~5.14 배 진전되므로 집중적인 유지관리가 필요함을 알 수 있다.

핵심용어 : PS 텐던, 부식, ICM, 그라우트, 블리딩, 균열