

그라우트 품질을 고려한 텐던의 부식저항성 평가

류화성¹, 안기홍², 고경택³, 권성준^{4*}

Evaluation of Corrosion Resistance with Grout Type and Tendon

Ryu, Hwa-Sung¹, An, Ki-Hong², Koh, Kyung-Taek³, Kwon, Seung-Jun^{4*}

Abstract: Grout in duct is very effective protection from tendon corrosion in PSC(Prestressed Concrete) structure. In the work, durability and mechanical tests are performed for two types of grout which are conventionally used one and the improved grout with reduced w/c (water to cement) ratio and silica fume. Tendon system with 1000mm height is prepared and various tests including strength, flow, absorption, and bleeding ratio are conducted. ICM(Immersed Current Method) is adopted for corrosion acceleration in tendon with 12.7mm diameter inside grout. For 2 and 4 days, corrosion acceleration is performed for 2 different type of grout and corrosion amount is investigated. The improved grout shows higher compressive strength by 10 MPa and lower absorption ratio by 50% than the conventional one. It also provides an excellent corrosion reduction to 39.8 % ~ 48.2 % for 2 ~ 4 days of acceleration period.

Keywords: Grout, Tendon, Corrosion, ICM, Absorption, Bleeding

1. 서론

콘크리트 구조물(RC: Reinforced Concrete)은 경제적이고 내구성이 확보된 구조물이지만, 콘크리트 자체의 공극을 통하여 수분 및 이온의 교환이 발생한다(Ishida et al., 2007; Li et al., 2011). 특히 해수 또는 산소와 염화물 이온이 같이 공급되는 부식환경의 경우 염화물 이온의 침투로 인해 매립된 철근은 부식이 발생하게 되고 이로 인한 사용성능 및 구조성능의 저하가 발생하고 있다(Broomfield, 1997; Song et al., 2006; JSCE, 2007). 콘크리트 구조물중 PSC(Pre-Stressed Concrete) 구조는 자중을 줄일 수 있으며, 장경간 유도, 전단력 증가 등 많은 공학적인 장점을 가지고 있으므로 대형 구조물에 대부분 사용되고 있다. PSC 콘크리트 구조는 일반적으로 텐던 내부에 그라우트를 채워서 텐던과의 일체성 확보 및 부식에 대해 저항하도록 한다(Zhou et al., 2009; Kim, et al., 2016).

최근 들어 그라우트 내부의 텐던 부식이 문제되어 파단에 이르면서 공학적, 사회적으로 많은 문제가 되고 있다(Li et al.,

2011; Dai et al., 2015; Podolny, 1992; Shuxian et al., 2017). 이는 텐던의 경우 항상 높은 인장응력을 받고 있으며, 이는 동일한 전압조건, 즉 일정한 외부환경에 노출되어 발생하는 전압 조건이라 하더라도 비저항이 감소하여, 상대적으로 높은 전류가 발생하고 이는 부식의 진전으로 연결된다(Lee et al., 2017). 특히 텐던을 보호하고 있는 쉬스관 및 덕트의 파손이 발생할 경우 이러한 부식은 더욱 빠르게 진전된다.

많은 문헌에서 그라우트의 품질불량 및 시공불량으로 인한 텐던 부식의 문제가 보고 되고 있다(Lau, 2016; Permech et al., 2015; Powers, 1999; Pradhan, 2014). 부식이 발생하는 위치는 시공불량에 따라 공극부, 정착구로부터의 수분 유입, 상부 구조물의 제설염의 덕트 침투 등을 대표적인 원인으로 고려할 수 있다(Lau, 2016; Permech et al., 2015). 최근 들어 그라우트 내의 황이온 영향, 그라우트 재충전에 따른 신규 그라우트의 특성차이, 텐던내의 강연선의 표면 결함에 기인한 마이크로 셀 영향 등이 원인으로 발표되기도 하였다(Permech et al., 2015; Lee and Zielske, 2014).

국내에서도 이미 콘크리트 박스 내부의 촌치한 덕트의 파손과 이에 따른 텐던부식으로 많은 연구가 진행 중인데, 주로 그라우트의 미충전에 따른 공동부의 부식, 상부로부터 유입된 제설제를 포함한 염수의 유입 등이 주된 문제로 보고되고 있다. 덕트가 완벽하게 구성되어 있으면 그라우트의 품질은 내부 텐던의 부식과 밀접한 관계가 있다.

본 연구에서는 기존의 일반 그라우트와 실리카 폼이 함유된 고성능 그라우트를 대상으로 PS 텐던 구조를 제작하였으

¹정회원, (주)한양이엔씨 대표이사, 공학박사

²정회원, 한국건설기술연구원 전임연구원

³정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

⁴정회원, 한남대학교 건설시스템 공학과 부교수, 교신저자

*Corresponding author: jjuni98@hannam.ac.kr

Department of Civil Engineering, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea

• 본 논문에 대한 토의를 2018년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

며, ICM(Impressed Current Method)를 이용하여 부식을 촉진하여 해석 및 실험을 통한 부식 평가를 수행하였다. 본 실험에서는 일반적인 시공수준을 고려하여 그라우트내 시공불량이 없는 것을 가정하였는데, 본 연구를 통하여 그라우트의 특성이 텐던의 내부부식에 어느 정도 영향을 미치는지 정량적으로 평가될 것이다. Fig.1에서는 내부 텐던 부식의 피해 사례를 보여주고 있다.

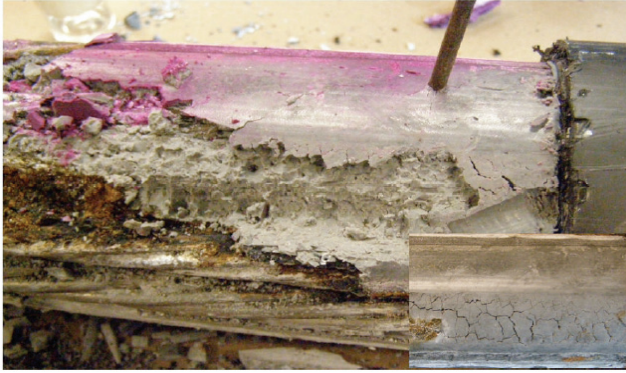


Fig. 1 Tendon corrosion in carbonated grout(Lau, 2016)

2. 텐던 부식저항성 평가를 위한 실험 개요

2.1 그라우트 배합

실험 대상 그라우트는 2개로 한 개는 물-시멘트비 0.45의 OPC 기반 그라우트이며, 나머지는 실리카 폼을 혼입한 물-시멘트비 0.30의 그라우트이다. 사용된 재료의 화학적 특성은 Table 1과 같으며, 그라우트 배합비는 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of OPC and Silica fume

Item Type	Surface Area (cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Ig. loss (%)	Chemical composition(%)					
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
OPC	3,413	3.15	1.40	21.01	6.40	3.12	61.33	3.02	2.14
SF	240,000	2.10	1.50	96.00	0.25	0.12	0.38	0.1	-

Table 2 Mix proportions for 2 grout types

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

2.2 그라우트 특성 시험

2.2.1 유하시간

본 연구에 사용된 두 종류의 그라우트 유동성 평가는 KS F 4044(수경성 시멘트 무수축 그라우트)에 규정되어 있는 유하시간 시험 방법에 따라 실시하였다(KS F 4044, 2004). 윗면의 안지름 178mm, 아랫면의 안지름 12.7mm, 높이 조절부 75mm, 깔대기 높이 190mm를 준비하였으며, 안지름 12.7mm, 길이 38.1mm의 배출관이 붙은 금속제로 제조된 깔대기를 이용하여 시료를 배출시켜 연속하여 유하하고 있는 시료가 처음 끊어질 때까지의 시간을 2회 측정하여 평균값을 초단위로 정수 자리로 나타냈다. Fig.2에서는 그라우트 타설 및 유하시험 사진을 나타내고 있다.



Fig. 2 Flow test of cement grout

2.2.2 블리딩 측정

각 그라우트의 블리딩률 평가는 KS F 2433(주입 모르타르의 블리딩률 및 팽창률 시험방법)이 준용되었으며(KS F 2433, 1972), 긴장재가 설치 가능한 아크릴 실린더를 제작하여 재질에 대한 비교평가를 실시하였다. PSC 그라우트제는 실험실 상태, 재료의 온도, 혼합, 배합, 측정 시간, 블리딩 수의 증발방지가 중요하므로 3시간 및 20시간 경과 후의 블리딩률을 평가하였다. 3시간 경과 시의 블리딩률(BR_3), 최종 블리딩률(BR_f), 그리고 팽창률(ER)은 식(1)~식(3)과 같다.

$$BR_3 = \frac{B}{V} \times 100 \quad (1)$$

$$BR_f = \frac{B+B'}{V} \times 100 \quad (2)$$

$$ER = \frac{(V'-B') - V}{V} \times 100 \quad (3)$$

여기서, V 는 시료의 용량(mL), B 는 3시간 경과 후의 블리딩량(mL), V' 는 20시간 경과 후의 시료의 용적(mL), B' 은 20시간 경과 후의 블리딩량(mL)을 나타낸다.

측정실린더를 사용하여 그라우트를 주입 및 블리딩을 측정하는 사진은 Fig.3에 나타내었다

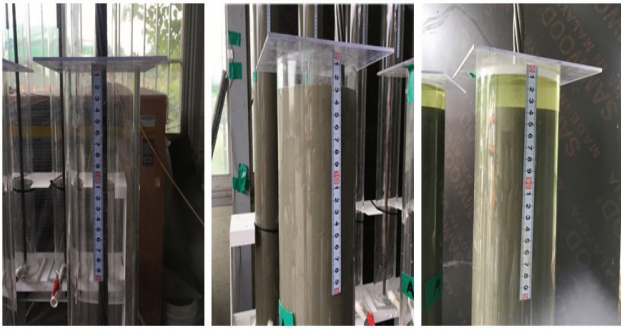


Fig. 3 Photos for bleeding test

2.2.3 흡수율

흡수율 시험을 위해 KS F 2451(건축용 시멘트 방수제 시험 방법) 및 KS F 4919(시멘트 혼입 폴리머계 방수제 시험 방법)을 준용하여 시험을 수행하였다(KS F 2451, 1968; KS F 4919, 2003). 시험체를 14일간 양생 후 온도 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 건조기 안에서 24시간 건조 한 후 꺼내어 상온까지 냉각했을 때의 무게를 전자저울을 사용하여 0.1g 까지 측정하였다. Fig. 4에서는 흡수율 시험을 위한 실험사진을 나타내고 있다.



Fig. 4 Photos for absorption ratio

2.2.4 압축강도 시험

압축강도 평가는 KS L 5105(수경성 시멘트 모르타르의 압축 강도 시험방법)에 규정되어 있는 압축강도 시험 방법에 따라 수행하였으며(KS F 5105, 1966), Fig. 5와 같은 $50 \times 50 \times 50\text{mm}$ 몰드를 사용하여 시험체를 제작 후 200 TON UTM(만능시험기)을 사용하여 측정하였다.



Fig. 5 Photos for compressive strength test

2.3 텐던 시스템 제작

텐던 시스템을 만들기 위해 7개의 강연선을 가진 외경 15.3mm 텐던이 사용되었다. 직경 100mm를 가진 실린더를 이용하여 높이 100mm의 플라스틱 몰드를 제작하였으며, 하부로부터 그라우트를 기계적으로 유입할 수 있도록 유입구를 제작하였다. Table 3에서는 사용된 텐던의 물리적 특성을 나타내었으며, 몰드제작 및 그라우트 주입과정은 Fig. 6에 나타내었다.

Table 3 Physical properties of tendon used

Strand diameter (mm)	Steel area (mm^2)	Construction (center + outer wire)	Breaking strength (kN)	Modulus of elasticity (kN/mm^2)
15.3	139.92	1+6	271.8	204.9

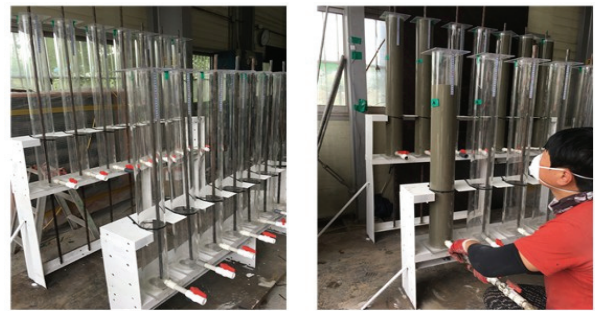
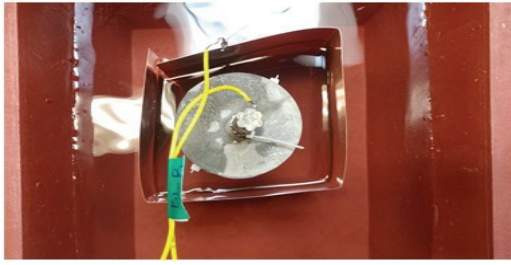


Fig. 6 Photos for tendon system and grouting

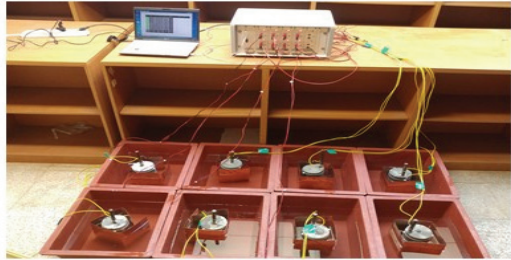
2.4 촉진부식실험

수개월 동안 자연전위를 통하여 명확한 부식증가를 확인할 수 없으므로 본 연구에서는 촉진 부식실험인 ICM(Impressed Current Method)를 적용하여 부식량 수준 유발시기를 앞당겼다. Impressed Current Method를 적용하여 부착력 성능에 대한 평가는 이미 여러 기존연구에서 채택하여 사용되고 있으며(Sakurada et al., 2008; Baek et al., 2012), 부식에 의한 재료 및 구조물의 내력변화, 형상변화 연구에 유효한 방법으로 알려져 있다.

14일 양생 후 실린더 몰드를 해체하였으며, 이후 인공 해수에 준치시켜 부식유발환경을 만들었다. 수용액은 실제 해수와 같은 염화물 농도를 고려하기 위해 3.5% NaCl수용액을 적용하였으며, 24시간 동안 미리 침지를 시켜 촉진 부식을 실시하는 동안 충분히 염화물 이온에 노출될 수 있도록 하였다. DC Power Supply는 R사의 제품을 사용하여 20V의 전압을 인가하여 부식을 유도하였다. 텐던을 길이 200mm로 절단하여 촉진 실험을 수행하였으며 균등한 부식유발을 위해서 구리판을 원형 시편의 주위에 설치하였다. 부식 유발기간은 2일과 4일의 두 가지로 분류하여 부식기간에 대한 영향을 평가하였다. Fig. 7에서는 ICM를 이용한 촉진부식평가전경을 나타내고 있다.



(a) Copper plate installation



(b) Applied DC from power supply

Fig. 7 Photos for ICM for corrosion acceleration

또한 철근부식량의 이론적 평가를 위해 Faraday 법칙을 이용한 계산 값과 촉진부식 후 수거한 텐던의 부식량을 제거하는 실험값을 산정하였다. 식(4)에서는 Faraday 법칙을 나타내고 있다.

$$M = \frac{c}{zF} \int q dt \quad (4)$$

여기서, M 은 부식량(mol), z 는 철의 이온수(=2), F 는 Faraday의 수(=96,500 C), q 는 전류(A), t 는 측정시간(sec), c 는 실험상수이다.

3. 그라우트 특성 평가 및 부식량 평가

3.1 그라우트 특성

Table 4에서는 유하시간, 블리딩, 압축강도, 흡수율 측정결과를 정리하여 유하시간을 측정된 결과, GA의 경우 평균 17초, GB의 경우는 평균 36초로 측정되었다. 이는 단위분체량이 많아서 유하 시간이 증가한 것이지만 1.0m 시편에 주입할 경우 시공성에서는 큰 차이가 발생하지 않았다. GA 및 GB의 블리딩률 및 팽창률을 측정된 결과, GA는 0.80%, GB는 0.17%의 블리딩률을 나타내었으며, 20 시간 이후 GA에서는 -1.27%, GB에서는 -0.27%의 팽창률을 나타내었다. 블리딩의 경우 단위 시간에 반응하는 시멘트량이 증가할수록 감소하므로 부배합 그라우트에서 블리딩의 감소가 발생하였다. 또한 팽창률

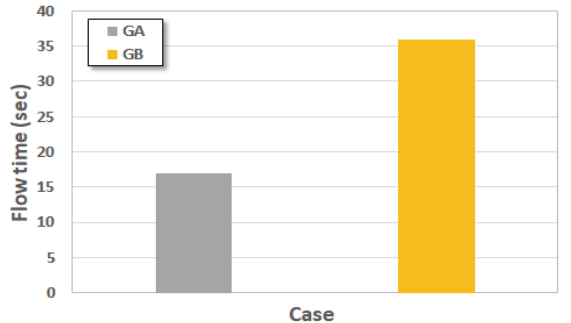
Table 4 Summarization of test results for GA and GB

Types	No.	Flow time(sec)				Average(sec)	
GA	1	14				17	
	2	20					
GB	1	39				36	
	2	33					
Types	No.	Bleeding ratio (%)				Expansion ratio (%)	
		3 hours		20 hours			
GA	1	0.7	0.67	0.8	0.80	-1.3	-1.27
	2	0.8		0.9			
	3	0.5		0.7			
GB	1	0.1	0.13	0.2	0.17	-0.3	-0.27
	2	0.2		0.2			
	3	0.1		0.1			
Types	No.	Period (days)	Compressive strength (MPa)		Average (MPa)		
GA	1	7	34.34		37.68		
	2		38.18				
	3		40.53				
GA	1	28	45.63		46.67		
	2		50.02				
	3		44.37				
GB	1	7	48.69		49.24		
	2		51.20				
	3		47.82				
GB	1	28	52.84		57.05		
	2		57.08				
	3		61.23				
Types	No.	Period (days)	Absorption ratio (%)	Average (%)			
GA	1	14	16.53	16.84			
	2		17.10				
	3		16.90				
GA	1	28	15.65	14.90			
	2		14.33				
	3		14.72				
GB	1	14	8.34	8.20			
	2		8.21				
	3		8.06				
GB	1	28	8.07	7.42			
	2		6.96				
	3		7.24				

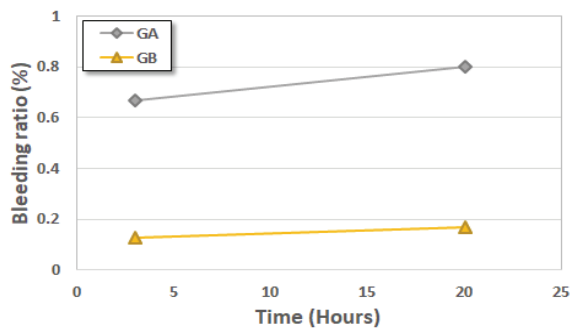
은 수화반응에 따라 수축이 생하는데, 건조수축의 발생기구와 비슷하다. 단위 분체량이 크고 자유수가 작은 경우 건조수축량이 감소하므로(RILEM, 1997; Tazawa and Miyazawa, 1995), 팽창률이 GB에서 -0.27% 수준으로 감소하였다.

압축강도는 7일, 28일 모두 그라우트 GB가 GA에 비해 10.0 MPa 이상 높은 것으로 평가되었으며, 흡수율은 GA에서는

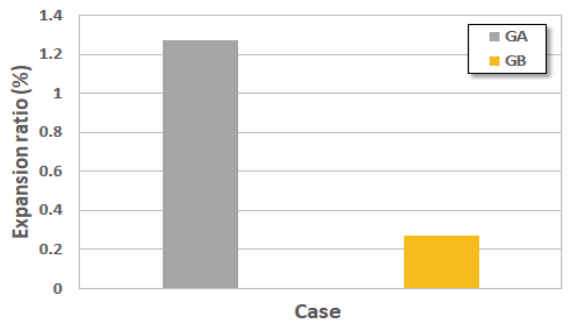
14.9~16.8%를, GB에서는 7.4~8.2% 수준의 흡수율로서 50% 수준의 감소를 나타내었다. 단위 분체량의 증가 및 SF 혼입으로 인한 공극률의 감소는 강도 증가 및 투수성 감소에 매우 효과적으로 알려져 있다(Song et al., 2010; Song et al., 2006). 그라우트 특성에 대한 실험결과는 Fig. 8에 도시하였다.



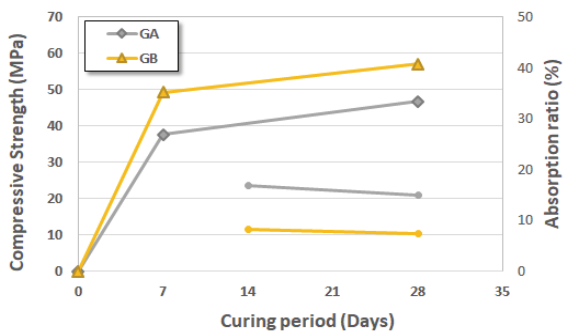
(a) Flow time



(b) Bleeding ratio with time



(c) expansion ratio

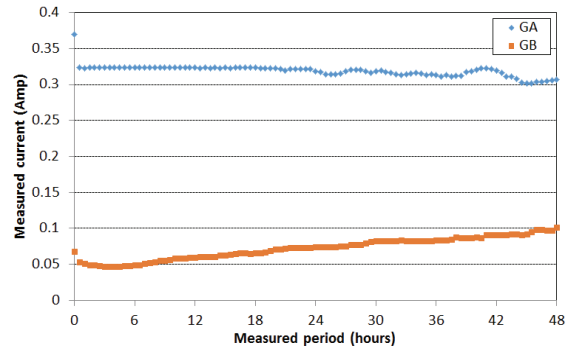


(d) Compressive strength and Absorption ratio with time

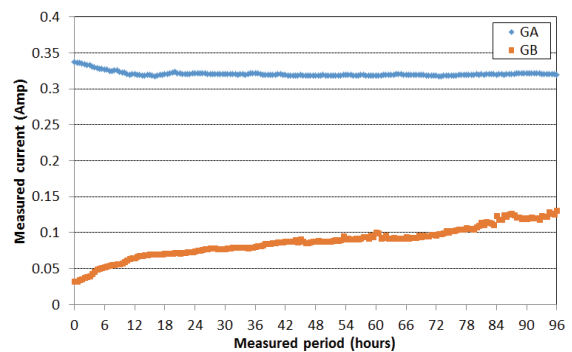
Fig. 8 Engineering properties of GA and GB

3.2 텐던의 부식특성

축진 부식실험을 통한 부식 특성을 평가하기 위해 컷팅된 시편 중 하면에 있는 시편, 즉 블리딩이 없는 건전한 구간에 대한 시편을 대상으로 철근부식 평가를 수행하였다. Fig. 9에서는 2일 및 4일 경과된 시편의 부식전류 측정결과를 나타내고 있다.



(a) Current measurement for 2 day



(b) Current measurement for 4 day

Fig. 9 Comparison of measured current with acceleration period

또한 실제 측정된 2일 및 4일의 부식량 평가 결과 및 부식 성상을 Fig. 10에 나타내었으며 관련 강연선의 부식사진을 Fig. 11에 나타내었다.

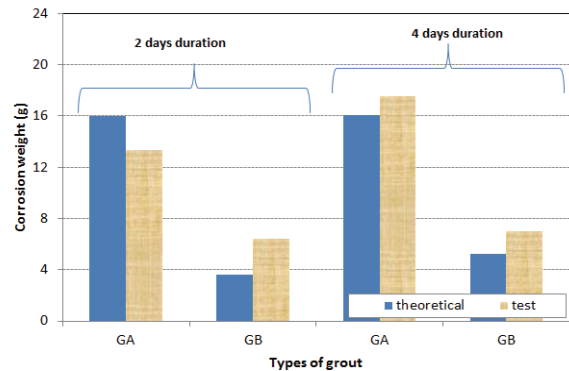


Fig. 10 Measured corrosion amount with various conditions



(a) GA (4 days)



(b) GB (4 days)

Fig. 11 Photos for corroded strand

이론과 실험결과는 유사한 경향을 보이지만 차이를 나타낸다. 이는 실험상수(c)를 고려하지 않았고, 증류수를 대신 인공해수를 사용하였으며, 양이온이 많은 그라우트 내의 텐던의 부식량을 평가하였기 때문이다. 또한 측정시의 오차와 온도 영향도 있었으리라 판단된다. 실험값을 기준으로 부식시간의 2일에서 4일로 증가함에 따라 GA에서는 13.37 g에서 17.58 g으로 증가하였으며, GB에서는 6.44 g에서 7.00 g으로 부식량이 증가하였다. 고품질의 그라우트를 사용함으로써 2일 경과 시 48.2%의 부식감소를 4일 경과 시 39.8%의 부식 감소를 유도할 수 있었다.

부식전류를 감소시키는 주된 원인은 부배합 그라우트를 통한 공극률의 감소와 이온 확산성의 감소이며, SF의 첨가로 인해 감소된 공극률이 큰 영향을 차지했을 것으로 판단된다 (Tazawa and Miyazawa, 1995; Song et al., 2010).

4. 결론

그라우트 품질을 고려한 텐던의 부식저항성 평가를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 물-시멘트비 0.45의 일반 그라우트(GA)와 실리카 폼을 혼합한 0.30의 그라우트(GB)를 대상으로 유하시간, 블리딩, 압축강도, 흡수율을 평가하였다. 유하시간의 경우 GA는 평균 17초, GB는 평균 36초로 측정되었는데, 1.0m 시편에 주입한 결과 시공성에 큰 영향은 없었다. 20시간 이후 GA에서는 1.27%, GB에서는 0.27%의 팽창률을 나타내었으며 블리딩의 경우 0.80%, 0.17%로 평가되었다. 28일 압축강도는 GB가 GA대비 10 MPa 이상 높았으며, 흡수율은 50% 수준으로 감소하였다.
- 2) 20V의 전압을 인가한 ICM(Impressed Current Method)를 적용하여 촉진 부식시험을 수행하였다. 부식시간을 4일로

증가함에 따라 GA에서는 17.58 g, GB에서는 7.00 g의 부식량이 평가되었다. 고품질의 그라우트를 사용함으로써 2일~4일 경과 시 39.8%~48.2%의 부식감소를 유도할 수 있었다. 부식전류를 감소시키는 주된 원인은 부배합 그라우트 및 실리카 폼 사용을 통한 공극률의 감소와 이온 확산성의 감소이다. 또한 이며 실리카 폼 첨가로 인해 감소된 공극률이 큰 영향을 차지한 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

- B. Y. Lee, K. T. Koh, M. A. Ismail, H. S. Ryu, and S. J. Kwon. (2017), Corrosion and Strength Behaviors in Prestressed Tendon under Various Tensile Stress and Impressed Current Conditions, *Advances in Materials Science and Engineering*, 7.
- Broomfield, J. P. (1997), Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, *Investigation and Repair*, E&FN, London, 1-15.
- F. Li, Y. Yuan, and C.-Q. Li. (2011), Corrosion propagation of prestressing steel strands in concrete subject to chloride attack, *Construction and Building Materials*, 25(10), 3878-3885.
- H. Shuxian, W. Herbert, H. Rosemarie, D. Biqin, D. Peng, and X. Feng. (2017), Long-term monitoring of reinforcement corrosion in concrete using ground penetrating radar, *Corrosion Science*, 114(1), 123-32.
- Ishida, T., Maekawa, K., and Kishi, T. (2007), Enhanced modeling of moisture equilibrium and transport in cementitious materials under arbitrary temperature and relative humidity history, *Cement and Concrete Research*, 37(4), 565-578.
- Japan Society of Civil Engineering(JSCE). (2007), Standard Specification for Concrete Structures-Design JSCE Guidelines for Concrete 15, Tokyo, Japan.
- Kingsley Lau. (2016), Corrosion of Post-Tensioned Tendons with Deficient Grout, Final report, *Florida Department of Transportation Research Center*, BDV29-977-04, 202.
- KS F 2433 (1972), Standard test method for bleeding and expansion ratios of grouting mortar, KSSN, 1-10.
- KS F 2451 (1968), Method of test for waterproof agent and admixture of cement for mortar in building construction, 1-12.
- KS F 4044 (2004), Hydraulic cement grout(Nonshrink), KSSN, 1-12.
- KS F 4919 (2003), Cement-polymer modified waterproof coatings, 1-19.
- KS L 5105 (1966), Testing method for compressive strength of

- hydraulic cement mortar, 1-9.
- L. Dai, L. Wang, J. Zhang, and X. Zhang. (2015) A global model for corrosion-induced cracking in prestressed concrete structures, *Engineering Failure Analysis*, 62(1), 263-275.
- Permech, S, Krishna Vigneshwaran. K. K, Lau, K, Lasa. I and Paredes. M. (2015), Material and Corrosion Evaluation of Deficient PT Grout with Enhanced Sulfate Concentrations, *NACE Corrosion, NACE International*, 5828, 13.
- 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.
- RILEM (1997), Avoidance of thermal cracking in concrete at early age, Report of RILEM Technical Committee 199-TCE, E&FN Spon.
- S. Baek, W. Xue, M. Q. Feng, and S. Kwon. (2012), Nondestructive corrosion detection in RC through integrated heat induction and IR thermography, *Journal of Nondestructive Evaluation*, 31(2), 181-190.
- S. H. Kim, J. G. Choi, S. M. Ham, and W. H. Heo. (2016) Reliability evaluation of a PSC highway bridge based on resistance capacity degradation due to a corrosive environment, *Applied Sciences*, 6(12), 423.
- S. Sakurada, H. Irie, and Y. Yoshida. (2008), Development of reinforced concrete corrosion amount presumption method by ultrasonic method, in *Proceedings of the 17th World Conference on Nondestructive Testing*.
- Seung-Kyoung Lee and James Zielske. 2014, An FHWA Special Study: Post-Tensioning Tendon Grout Chloride Thresholds, *Federal Highway Administration*, FHWA-HRT-14-039.
- Song, H. W., Back, S. J., Lee C. H., and Kwon, S. J. (2006), Service Life Prediction of Concrete Structures Under Marine Environment Considering Coupled Deterioration, *Restoration of Buildings and Monuments*, 12(4), 265-284.
- 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., 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.
- Tazawa E., and Miyazawa S. (1995), Influence of cement and admixture on autogenous shrinkage of cement paste, *Cement and Concrete Research*, 25, 281-287.
- W. Podolny Jr. (1992), Corrosion of prestressing steels and its mitigation, Special Report, *Precast Concrete Institute Journal*, 37(5), 34-55.
- Z. Zhou, J. P. He, G. D. Chen, and J. P. Ou. (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.

Received : 03/16/2018

Revised : 06/21/2018

Accepted : 06/30/2018

요 지 : PSC 구조에서 덕트 내부의 그라우트는 텐던 부식에 효과적인 부식방어 기재이다. 본 연구에서는 일반적으로 사용되고 있는 그라우트와 낮은 물-시멘트비와 실리카 폼을 혼입한 그라우트를 대상으로 역학적, 내구적 시험을 수행하였다. 높이 1000mm의 덕트를 이용하여 텐던 시스템을 제작하였으며, 두 가지 그라우트에 대하여 강도, 흡수율, 플로우, 블리딩, 팽창률 등을 평가하였다. 또한 내부 12.7mm 텐던에 대하여 ICM(Impressed Current Method)를 이용하여 2일 및 4일 동안 부식을 촉진시켰으며 부식량을 조사하였다. 개선된 그라우트에서는 10MPa 이상의 높은 강도와 50% 이하의 낮은 흡수율을 나타내었다. 또한 2일~4일 동안의 부식촉진실험에서 39.8%~48.2%의 뛰어난 부식 감소율 나타내었다.

핵심용어 : 그라우트, 텐던, 부식, ICM, 흡수율, 블리딩
