

실린더 직경과 강연선 개수가 시멘트 페이스트의 블리딩에 미치는 영향

Effects of Diameter of Cylinder and the Number of Strand on the Bleeding of Cement Paste

이정수¹ · 고경택² · 안기홍² · 강수태³ · 권승희^{1*}

Jung-Soo Lee¹ · Kyung-Teak Koh² · Gi-Hong Ahn² · Su-Tae Kang³ · Seung-Hee Kwon^{1*}

(Received March 11, 2016 / Revised March 23, 2016 / Accepted March 24, 2016)

In this study, the bleeding tests were performed to investigate the effects of cement paste($w/c=0.42$) on bleeding through varying the number of strand and the diameter of cylinder. The test variables were specified by differing the diameter of cylinder and the number of strand. The bleeding test was performed with respect to all diameter parameters by with or without strand. In addition, the number of strands were specified at four levels, 0, 1, 2, and 3 EA in case of 50 mm cylinder. In case of without strand, the bleeding rate was determined at low level under 2%. Moreover, all of the specimens had similar value in the measurement error. In case of with strand, maximum bleeding rate was 10%. As the diameter of cylinder decreased, the bleeding rate was decreased. The bleeding rate was altered rapidly in between 50 to 100mm of diameter. Even though bleeding rate was increased according to the increase in the number of strand, these tendency for bleeding rate was negligible with the measurement error.

키워드 : 시멘트 페이스트, 블리딩, 강연선, 실린더, PSC 그라우트

Keywords : Cement paste, Bleeding, Strand, Cylinder, PSC grout

1. 서론

포스트텐셔닝(post-tensioning) 방식으로 제작되는 PSC(pre-stressed concrete) 구조물은 시공 단계에서 강연선을 긴장하여 발생하는 압축력을 통해 콘크리트의 균열을 제어하고, 구조적인 안전성을 확보하게 된다. 강연선은 쉬스관 내부에 삽입되고, 그라우팅 과정을 통해 구조물과의 일체화를 이루게 된다. 그라우트가 쉬스관 내부를 밀실하게 채우지 않을 경우 외부의 유해물질에 의해 강연선이 부식될 수 있으며, 극단적인 경우에는 강연선 파단으로 인한 구조물의 붕괴를 야기할 수 있다. 쉬스관을 밀실하게 채우기 위해서는 그라우트 주입장치의 주입 성능과 그라우트의 유동성을 확보해야 한다. 특히 그라우트를 쉬스관 내부에 밀실하게 채우더라도 블리딩 현상에 의해 공극이 발생하게 되어 강연선의 부식으로 이어질 수 있으므로 그라우트의 블리딩 발생량을 그라우트 배합설계 단계에서

고려하여 그라우팅 적합 여부를 판단하는 과정이 필요하다.

국내·외 규정에서 그라우트의 블리딩 시험은 원형 실린더 내부에 그라우트를 주입하여 일정 경과 시간에서의 블리딩 양을 측정하여 기준 값 이하 여부를 평가하고 있다. 그러나 각각의 시험규정에 사용하는 실험체의 크기와 시험방법에 차이가 있으며, 그라우트의 성능을 평가하는데 있어 어떠한 시험 규정을 적용하느냐에 따라 배합 선정 과정에서 다른 결과를 나타낼 수 있다.

특히 국외의 대부분의 블리딩 시험 규정은 실린더 중앙에 강연선을 배치하여 실제 쉬스관 내부에서 강연선에 의해 발생하는 심지효과를 고려하고 있다(BS EN 445 2007; ASTM C 940 2010). 그러나 국내 시험규정의 경우 강연선에 의한 심지효과를 고려하고 있지 않아 실제로 강연선이 있는 쉬스관 내부에서의 블리딩 현상을 평가하기 어렵다(KS F 2433 2014). 심지효과란 길고 작은 구멍을 따라 유체가 상승하는 모세관 현상에 의해 발생하며, 여러 가닥의

* Corresponding author E-mail: kwon08@mju.ac.kr

¹명지대학교 토목환경공학과 (Department of Civil and Environmental Engineering, Myongji University, Gyeonggi-do, 449-728, Korea)

²한국건설기술연구원 구조융합연구소 (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi-do, 411-712, Korea)

³대구대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Daegu University, Gyeongsangbuk-do, 712-714, Korea)

강선으로 이루어진 강연선의 좁은 틈을 따라 그라우트 내부의 수분이 상승하여 그라우트의 압밀·침하현상으로 발생하는 블리딩 이외에 추가적으로 블리딩 수가 발생하는 현상을 일컫는다(Lee et al, 2010).

기존의 연구자료에 따르면 국내·외 기업의 쉬스관 규격은 직경이 40mm에서 150mm에 이르기까지 다양한 분포를 갖고 있다(Jin 2010). 그러나 국내·외 블리딩 시험규정을 살펴보면, 실험체로 사용하는 실린더의 직경을 각각 다르게 적용하고 있다. 또한 국외의 블리딩 시험 규정은 실린더 내부의 강연선을 한 가닥으로 제한하고 있어, 쉬스관 내부에 여러 가닥의 강연선이 배치되는 실제 설계 및 시공에 고려하기에는 다소 무리가 있다.

이와 같이 기존의 시험규정은 실제와 다른 불명확성을 포함하고 있으며, 향후 국내의 그라우트 블리딩 시험규정을 개선하는데 있어 위에서 언급한 강연선의 영향, 실린더 직경에 따른 영향, 강연선의 개수에 따른 영향을 파악하는 기초적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 실제 PSC 그라우트의 물-시멘트비를 갖는 페이스트를 대상으로 강연선의 유·무에 따른 블리딩 현상을 파악하고, 실린더의 직경과 블리딩 양의 상관관계를 분석하고자 한다. 또한 기존의 블리딩 시험 규격에서 강연선을 1가닥으로 제한하고 있는 것과 달리 강연선의 개수를 증가시켜 강연선 개수에 따른 블리딩 실험을 수행하고 이를 통해 강연선 개수와 블리딩 양 사이의 관계를 분석하고자 한다.

2. 국내·외 그라우트 블리딩 시험 규정

그라우트의 블리딩 실험방법을 결정하기에 앞서 국내·외 시험 규정을 조사하였다.

국내의 그라우트의 블리딩 시험규정은 지름 50mm, 길이 500mm인 폴리에틸렌 실린더 내부에 그라우트를 약 200mm 높이 까지 채운 후 3시간, 20시간 경과 후 블리딩 수의 부피를 측정하여

블리딩률을 계산한다(KS F 2433 2014).

미국의 규정에서 그라우트 블리딩 시험 규정은 유리 재질의 1000mL 실린더 내부 중앙에 공칭직경 12.7mm 7연선을 배치한 후 800mL까지 그라우트를 채운다. 실험 초기 60분까지는 15분 간격으로 블리딩수의 양을 측정하며, 이후 1시간 간격으로 3시간까지 측정한다(ASTM C 940 2010).

유럽의 블리딩 시험의 경우 높이 1m, 직경 60-80mm인 실린더 안에 7연선 한 가닥을 배치한 수직 부재 실험과 길이 5m, 직경 80mm인 실린더 안에 직경이 15-16mm인 12연선을 배치하고 지면으로부터 30°가 되도록 기울여 수행하는 경사 부재 실험을 동시에 하도록 하고 있다(BS EN 445 2007).

각 블리딩 시험규정에 대한 자세한 사항은 Table 1에 나타내었다. 실제 PSC 그라우트의 블리딩 현상을 설명하는데 있어 유럽의 규정이 가장 정밀한 시험방법을 제시하고 있으나, 길이 5m인 경사 부재의 경우 다양한 변수의 시험을 진행하기에 어려움이 있으며, 수직부재 시험의 경우 직경이 60-80mm로 정확하게 제시되어 있지 않다. 시험방법의 난이도 측면에서 국내 시험규정에서 제시하는 방법이 가장 간편하지만, 폴리에틸렌 실린더를 사용하기 때문에 강연선의 배치가 어렵다. 미국의 시험규정에서 제안하고 있는 시험방법의 경우 강연선의 배치가 용이하고 실린더의 직경을 일정하게 제한하고 있으며, 시험방법이 비교적 쉽다. 따라서 미국의 블리딩 시험방법을 기준으로 실린더의 직경과 강연선의 개수를 변화시키며 블리딩 실험을 수행하였다.

3. 실험 개요

3.1 사용 재료 및 실험 변수

본 연구에서 사용한 재료는 1종 보통 포틀랜드 시멘트로 분말도 3,513cm²/g이며, 자세한 물리적 특성과 화학성분 구성을

Table 1. Comparison of the standard method of bleeding test

Standard	Specification		Grout height	Feature
	Strand	Cylinder		
KS F 2433	None	Diameter : 50mm Height : 500mm	200mm	Vertical
ASTM C 940	7-wire strand(φ12.7mm)	1,000mL	800mL	Vertical
BS EN 445	7-wire strand	Diameter : 60-80mm Height : 1,000mm	910mm	Vertical
	12-wire strand	Diameter : about 80mm Length : 5,000mm Slope : 30±2°	5,000mm	Inclined

Table 2. Physical properties and chemical composition of ordinary portland cement

Type	Item	Density (g/cm ³)	Surface area (cm ² /g)	L.O.I*	Chemical composition(%)				
					CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃
OPC		3.15	3,512	3.3	64.8	23.5	5.2	3.5	3.1

* Loss on ignition

Table 2에 나타내었다. 시멘트 페이스트는 기존의 PSC 그라우트에 관한 연구에서 사용한 물-시멘트비 0.42로 배합하였다(Koh et al, 2014).

시멘트 페이스트의 혼합 시 국내 시험규정에서 제시하는 기계 반죽용 혼합기를 사용하였으며, 시멘트와 물을 1분간 혼합한 뒤 패들에 묻은 페이스트 덩어리를 시료 주격으로 저어 떨어뜨렸다. 추가적으로 혼합기를 사용하여 2분간 혼합하였다. 혼합기의 자전 속도는 분당 140회, 공전속도는 분당 62회로 일정하게 고정하였다(KS F 2476 2012).

실험 변수는 실린더의 직경, 강연선의 유·무, 강연선의 개수로 Table 3과 같으며, 변수 명의 'D'의 우측 숫자는 실린더의 직경(25, 50, 75, 100, 150(mm))를 의미하며, 'S'의 우측 숫자는 강연선의 개수(0, 1, 2, 3(EA))를 의미한다.

현재 상용되고 있는 쉬스관의 다양한 규격을 모두 포함하도록 실린더의 직경을 25mm에서 150mm까지 5단계로 달리하여 수행하였다. 여기서 실린더 직경 50mm의 경우 미국의 시험규정에서 제시하고 있는 실린더의 크기와 유사하다. 강연선 사용에 따른 심지 효과를 확인하기 위해 강연선이 있는 경우와 없는 경우에 대한 실험을 모두 수행하였다. 또한 직경 50mm 실린더를 사용한 실험에서 강연선을 2, 3개로 증가시켜 강연선 개수에 따른 블리딩 영향을 측정하고자하였다. 강연선은 미국 규정과 동일한 공칭직경 12.7mm 7연선을 사용하였다.

3.2 실험 방법

본 연구에서는 그라우트의 유동특성 파악을 위한 유동성 실험과 블리딩 현상 파악을 위한 블리딩 실험을 수행하였다.

3.2.1 유동성 실험

유동성 실험은 KS L 5111(2012)에 규정된 콘을 사용한 플로우 실험, KS F 4044(2014)에 규정된 깔대기를 사용한 유하시험, 점도계를 사용한 유동특성 측정 실험을 수행하였다.

플로우 실험은 국내 시험규정에서 제시하는 미니 슬럼프 콘을 사용하여 수행하였으며, Fig. 1에 그 형상을 나타내었다(KS L 5111 2012). 미니 슬럼프 콘을 유리 평판에 놓은 뒤 페이스트를 다짐

Table 3. Experiment variable on bleeding test

Diameter of cylinder(mm)	Number of strand(ea.)			
	0	1	2	3
25	D25-S0	D25-S1	-	-
50	D50-S0	D50-S1	D50-S2	D50-S3
75	D75-S0	D75-S1	-	-
100	D100-S0	D100-S1	-	-
150	D150-S0	D150-S1	-	-

이 채운 후 낙하운동 없이 미니 슬럼프 콘을 들어올려 페이스트의 최종 퍼짐 직경을 측정하였다. 유하 시험은 Fig. 2에 나타난 고갈형 시험기를 사용하여 수행하였다. 시험기에 부피 1,725mL의 페이스트를 채운 후 바닥의 구멍을 개방한 시점부터 시료가 모두 빠져나왔을 때의 시간을 초시계를 사용하여 측정하였다(KS F 4044 2014).

페이스트의 정량적인 유동특성을 측정하기 위해 점도계를 사용하였다. 본 연구에 사용한 점도계는 Fig. 3에 나타난 베인형 축을 회전하여 얻는 토크와 회전속도 관계를 전단응력과 전단속도 관계로 변환하고, 이 실험 결과를 Bingham fluid 모델에 적용하여 점도와 항복응력을 계산하였다. 페이스트의 정착시간에 따른 유동특성 변화를 측정하기 위해 혼합이 끝난 시점으로부터 20분 간격으로 180분까지 반복하여 수행하였다.

3.2.2 블리딩 실험

블리딩 실험체는 각 변수 별 2개 씩 제작하였다. 실린더의 크기는 Fig. 4에서 보듯이 직경 25, 50, 75, 100, 150mm이며, 높이는 500mm로 모두 동일하다. 강연선 유·무에 상관없이 높이 400mm까지 페이스트를 주입하여 실험을 수행하였다. 강연선은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 실린더의 단면 중앙에 설치하였으며, 2개 이상의 강연선을 사용할 경우 서로 간에 이격이 없도록 고정하였다. 페이스트 주입 후 수분의 증발을 막기 위해 파라핀 오일을 사용하여 시료의 상단을 마무리 하였다. 시간에 따른 블리딩 양을 측정하기 위해 20분 간격으로 180분까지 각 실험체의 페이스트 침하량을 측정하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 유동성 실험

플로우 실험은 총 5회에 걸쳐 수행하였으며, 최소 165mm, 최대 180mm, 평균 172.5mm로 측정되었다. 유하 시험 또한 5회 수행하였으며, 최소 32초, 최대 40초, 평균 36초로 측정되었다.

정지 시간에 따른 페이스트의 유동특성 실험 결과 Fig. 6에 나타난 바와 같이 시간이 지남에 따라 항복응력이 점차 증가하였다. 최종 측정 시간인 180분에서의 항복응력은 약 40Pa로 측정되었다. 이는 시간에 따라 페이스트가 응결하며 발생하는 현상으로 판단된다. 점도의 경우 항복응력과 반대로 시간이 지남에 따라 감소하는 결과를 보였으며, Fig. 7에 나타내었다. 이 역시 페이스트의 응결에 따라 발생하는 현상으로 판단되며, 초기 점도가 3.2Pa·s 이고 180분경과 후에는 0으로 측정되었다. 항복응력과 점도는 실험 시작 40분경과 시점부터 급격한 변화를 보이고 있다.

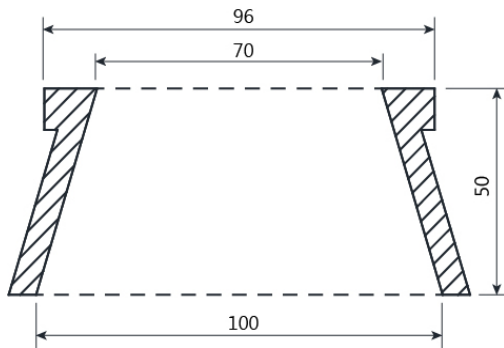


Fig. 1. Mini slump cone

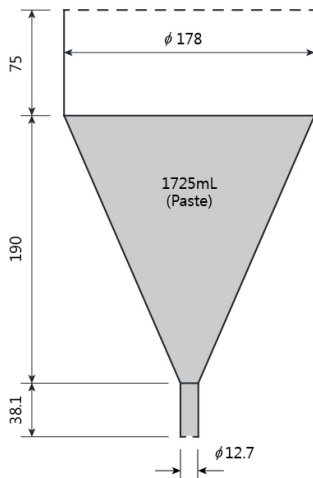


Fig. 2. Fluidity test equipment

4.2 블리딩 실험

블리딩 실험 시 시간이 지남에 따라 Fig. 8과 같이 페이스트는 침하하고 상단에 블리딩 수가 위치하게 된다. 실험체 내부에 페이스트를 주입한 시점으로부터 180분까지 20분 간격으로 침하량 Δh 를 측정하였으며, 식 (1)과 같이 실험 초기의 페이스트 높이로 페이스트의 침하량을 나눈 블리딩률로 나타내었다.

$$Bleedingrate, \% = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 \quad (1)$$

Fig. 9는 실린더 직경 별로 실험 시작 시점부터 시간에 따라 증가하는 블리딩률을 계산한 결과이다. 강연선이 있는 실험체의 경우 페이스트의 침하량이 실험 초기에 급격하게 증가하며 최대 10%의 블리딩률(Fig. 9(b), D50-S3)을 보이지만, 강연선이 없는 경우에는 상대적으로 작은 양의 블리딩이 발생함을 확인하였다. 또한 강연선의 유·무에 따른 블리딩 효과가 매우 크게 나타나



Fig. 3. Vane spindle

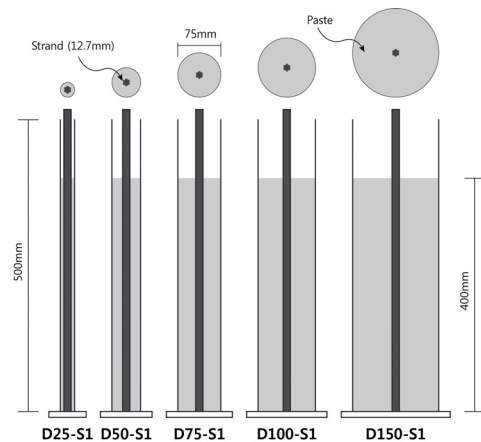


Fig. 4. Shape of cylinder and height of paste

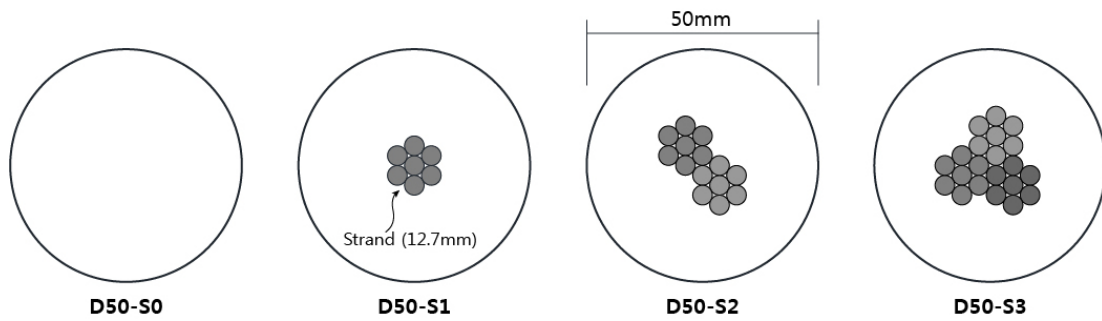


Fig. 5. Bleeding test on paste by varying the number of strand using 50mm cylinder

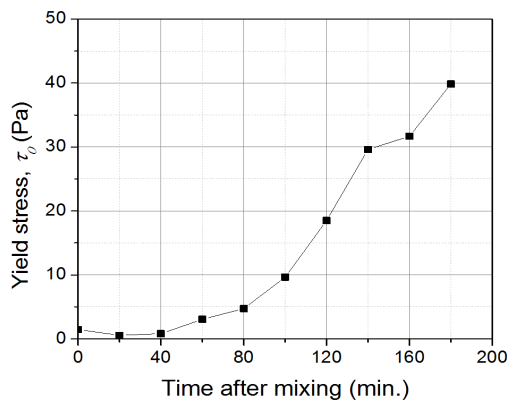


Fig. 6. Yield stress versus time curve of cement paste

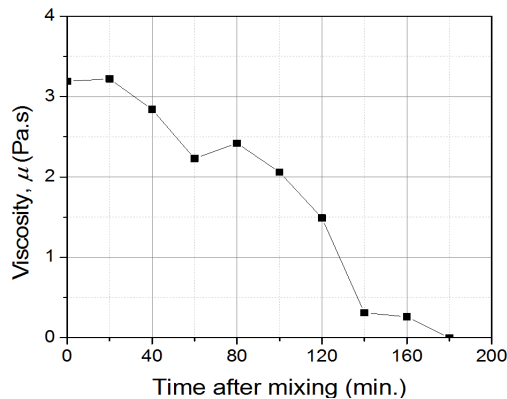


Fig. 7. Viscosity versus time curve of cement paste

는 D25, D50, D75 실험체에서는 측정시간 40분 이후 블리딩률 증가 폭이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 이는 점도계를 사용한 유동성 실험에서 40분 이후 항복응력이 급격히 증가하고 점도가 급격히 감소하는 경향과 관련이 있으며, 페이스트의 응결로 인해 강연선의 심지효과 또한 점차 감소하는 것으로 판단된다. 이 현상은 그라우트의 시간에 따른 유동특성과 블리딩률 사이의 상관관계

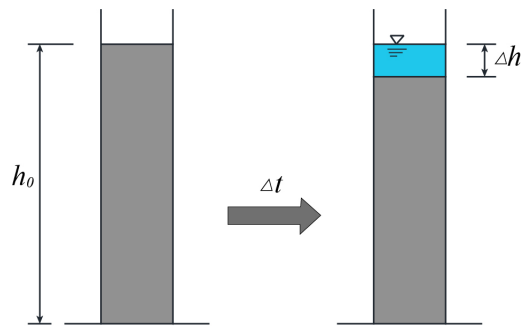


Fig. 8. The bleeding effect

를 파악하는데 중요한 요소로 작용할 것으로 생각된다.

4.2.1 강연선 유·무에 따른 블리딩 효과

Fig. 10에 최종 실험 시간인 3시간 후의 강연선 유·무에 따른 블리딩률 평균값을 비교하여 나타내었다. 강연선이 있는 경우와 없는 경우를 비교하였을 때 강연선이 있는 경우의 실험에서 블리딩률이 증가하는 것으로 측정되었다. 강연선 유·무에 따른 블리딩률의 차이는 D25 실험체에서 최대 6.7배까지 발생하는 것으로 나타났다. 이 결과는 PSC 교량에 사용하는 그라우트의 경우 강연선에 의한 심지효과를 고려한 예측실험을 수행해야한다는 것을 의미한다.

강연선이 없는 경우 블리딩률이 2% 이하로 작게 발생하였다. 이러한 실험방법은 작은 측정오차로도 시료에 따른 경향을 파악하기 어려우며, 매우 정밀한 측정이 요구된다.

따라서 현재 강연선을 고려하지 않는 국내 블리딩 시험규정을 강연선의 영향을 고려하도록 개정할 필요성이 있다고 판단된다.

4.2.2 실린더 직경에 따른 블리딩 효과

강연선이 있는 경우 블리딩률은 직경이 가장 작은 D25 실험체에서 가장 크게(8.17%) 발생하며 실린더의 직경이 증가할수록 점

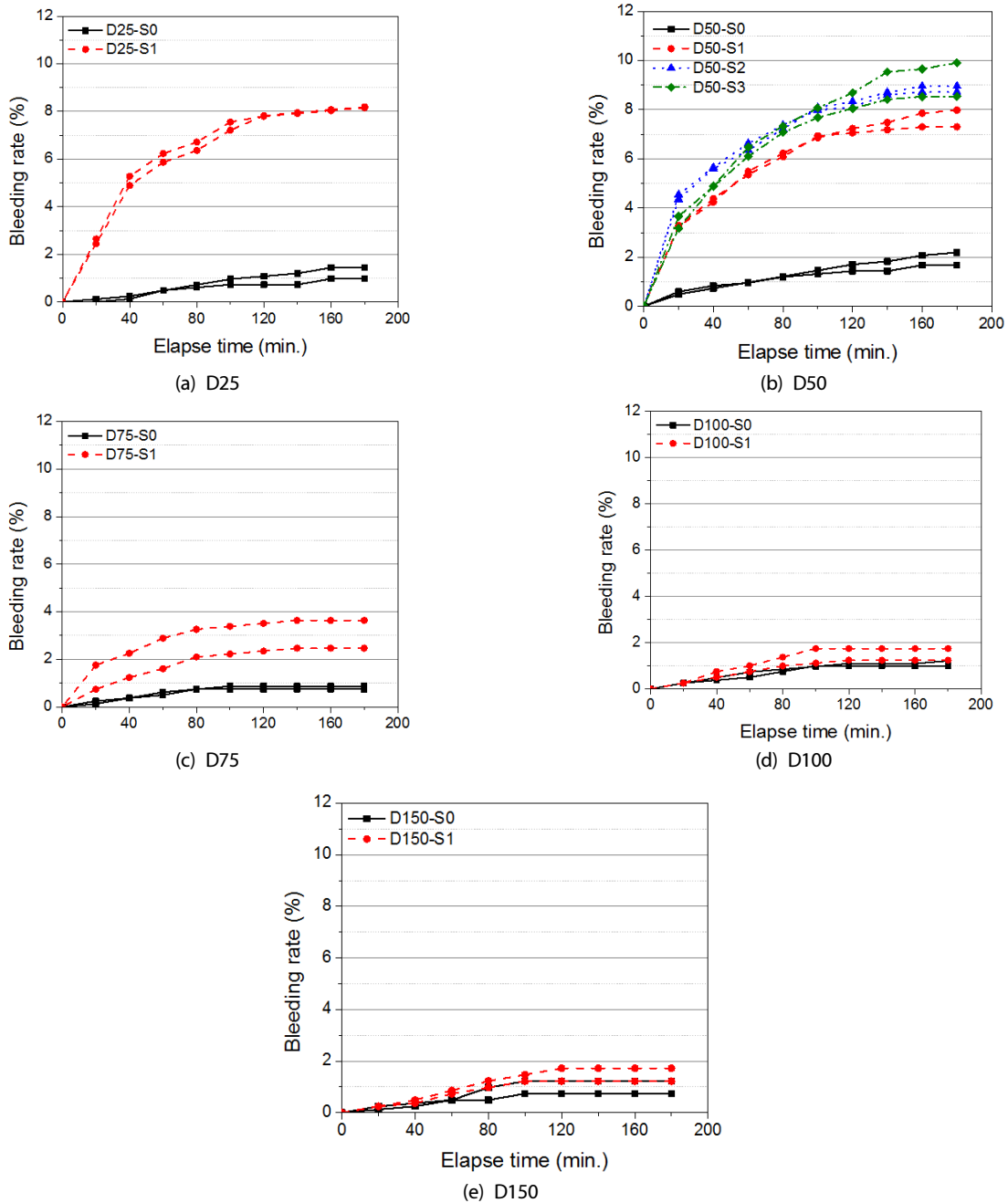


Fig. 9. Bleeding rate versus elapse time curve according to the diameter of cylinder

차 감소하는 경향을 보인다. 여기서 주목할 점은 실린더의 직경이 50mm 이상이 될 때 블리딩률이 급격히 줄어들며, 직경 100mm 이후로는 거의 변화가 없는 것이다. Fig. 10에 나타난 바와 같이 D25와 D50 실험체의 블리딩률 변화는 약 0.5%로 매우 작으며, D100과 D150 실험체 사이의 블리딩률 변화는 그보다 더 작게 나타난다. 그러나 D75 실험체의 블리딩률은 D50 실험체보다 약 2.5배

작게 발생하며, D75와 D100 실험체의 관계 또한 약 2배의 차이가 발생하였다. 앞서 설명한 유럽의 블리딩 시험규정에서 실린더의 직경을 60-80mm 사이로 제한한 것도 이러한 현상을 반영한 것으로 판단된다. 추후 국내 시험규정을 개정함에 있어서 쉬스관의 직경에 따른 블리딩 현상을 고려할 수 있도록 50-100mm 범위 내에서 실린더의 직경을 결정할 필요가 있을 것으로 생각된다.

이러한 문제점을 생각하더라도 그라우트의 블리딩 현상을 파악하기 위해 강연선을 사용하는 시험을 진행하는 것이 실제 PSC 그라우트의 정량적인 블리딩을 예측하는데 있어 유리할 것으로 판단된다.

4.2.3 강연선 개수에 따른 블리딩 효과

Fig. 11은 직경 50mm 실린더를 사용하여 강연선 0, 1, 2, 3개인 경우에 대한 블리딩률 결과를 나타낸 것이다. 강연선이 없는 'S0'의 경우 강연선이 있는 경우와 비교하여 매우 작은 블리딩이 발생하였으며, 강연선의 개수가 증가함에 따라 블리딩률이 점차 증가하는 것으로 확인되었다. 블리딩률이 가장 크게 측정된 S3 실험체(9.22%)와 가장 작게 측정된 S0 실험체의 블리딩률(1.93%)은 약

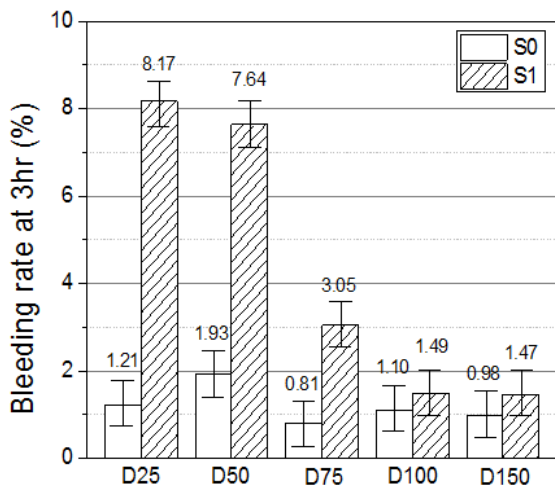


Fig. 10. Bleeding rate through varying the diameter of cylinder and with or without strand

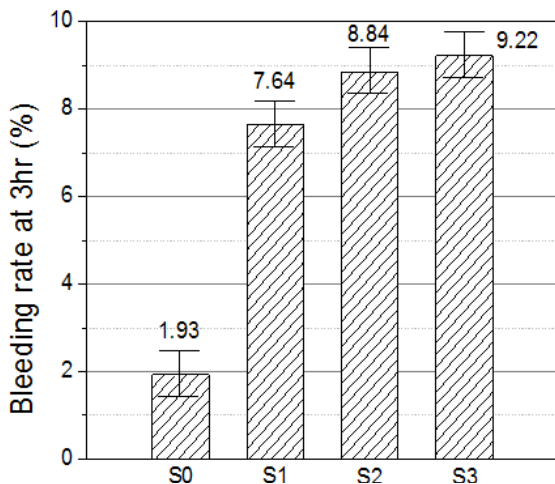


Fig. 11. Bleeding rate through varying the number of strand

4.8배의 차이를 보인다.

그러나 측정과정에서 생기는 오차범위(±0.5%)를 고려한다면 강연선의 개수에 따른 영향은 계산되는 블리딩률에 비해 매우 작다. 또한 실험에 사용하는 강연선이 2개 이상인 경우 실험자에 따라 강연선 사이의 이격이 다르게 배치될 수 있고, 이로 인해 발생하는 오차 또한 고려해야하는 어려움이 발생하게 된다.

따라서 1가닥의 강연선을 사용하더라도 그라우트의 블리딩을 예측하는데 충분히 의미있는 실험 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되며, 강연선 사이의 이격에 의한 실험 오차를 제거하고 실험과정을 단순화 할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 PSC 그라우트의 블리딩 예측을 위한 기존의 블리딩 시험방법의 문제점을 제시하였으며, 이를 개선하기 위한 기초단계의 연구로 물-시멘트 비 0.42인 시멘트 페이스트를 대상으로 강연선의 유·무, 실린더의 직경, 강연선의 개수가 블리딩에 미치는 영향을 검토하였다. 추가적으로 시간에 따른 유동특성 변화와 블리딩률 사이의 관계를 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 점도계를 사용한 유동특성 측정실험 결과 항복응력은 시간에 따라 점차 증가(0-40Pa)하며, 점도는 감소(3.2-0Pa)하는 경향을 나타내었다. 특히 실험 시작 40분 경과와 시점부터 유동특성의 변화가 급격해지는 것을 확인하였다. 이러한 현상은 시멘트 페이스트의 응결에 의한 것으로 판단된다.
2. 유동특성 측정 실험과 동일한 시간 조건에서 시간에 따른 블리딩을 측정하였으며 블리딩률로 계산하여 실험 결과를 분석하였다. 강연선이 있는 실험체의 경우 초기 블리딩률이 급격하게 증가하여 최대 9.22%(D50-S3)의 블리딩률을 보였으며, 실험 시작 40분 경과 시점에서 변화폭이 점차 감소하는 것을 확인하였다. 이러한 현상은 직경이 작은 실린더를 사용한 실험에서 두드러지게 나타났다. 시간에 따른 유동특성의 변화양상이 이 결과와 유사한 것으로 보아 유동특성과 블리딩률 사이에 상관관계가 있을 것으로 판단된다.
3. 강연선 유·무에 따른 블리딩률은 최대 6.7배(D25 실험체)의 차이를 보이며 강연선이 있는 경우 크게 발생하였다. 또한 강연선이 없는 경우 블리딩률이 2%이하로 매우 작게 발생하였으며, 이러한 실험방법은 작은 측정오차로도 시료에 따른 경향을 파악하기 어렵다. 따라서 배합(그라우트, 페이스트 등)에 따른 블

리딩 현상을 정확하게 파악하기 위해서는 강연선을 사용한 실험을 수행하여 측정오차에 의한 문제를 해결할 필요가 있다.

4. 강연선이 없는 경우 실린더의 직경에 따른 블리딩률은 경향이 없는 것으로 확인되었다. 그러나 강연선이 있는 경우 실린더의 직경이 증가할수록 블리딩률이 점차 감소하는 경향을 보였으며, 특히 직경 50–100mm 구간에서 블리딩률이 급격히 감소하였으며 100mm 이후에는 거의 변화가 나타나지 않았다. 따라서 PSC 그라우트의 블리딩을 예측하는데 있어 실제 쉬스관의 직경이 고려되어야 할 것이며, 50–100mm 사이의 실린더를 사용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.
5. 강연선이 증가함에 따라 블리딩률이 점차 증가하는 것을 확인하였다. 그러나 실험시 발생하는 측정오차에 의한 오차범위 ($\pm 0.5\%$)를 고려할 때 블리딩률의 차이는 무시할 수 있는 수준이다. 또한 2가닥 이상의 강연선을 배치하는데 있어 강연선 사이의 이격이 발생하며, 이 또한 블리딩 현상에 영향을 줄 것으로 판단된다. 그러나 실험자에 따라 강연선의 배치 상태가 다를 수 있고 이로 인해 강연선 사이의 이격이 달라질 수 있다. 따라서 블리딩 실험을 수행하는데 있어 1가닥의 강연선을 사용하는 것이 실험자에 따른 오차를 방지하는데 유리하며, 실험결과 또한 블리딩 예측을 위한 자료로써 충분히 의미가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

- ASTM C 940. (2010). Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory, ASTM International.
- BS EN 445. (2007). Grout for Prestressing Tendons-Test Method, British Standards Institution, BSI, London.
- Jin, H.M. (2010). Improvement on test method of steel strip sheaths used in prestressed concrete, Kookmin University, Seoul, Korea, 8–33 [in Korean].
- Koh, K.T., Ryu, G.S., Ahn, K.H., Kang, S.T. (2014). Effects of mineral admixture on the characteristics of grout for PSC bridge, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **2(1)**, 26–33 [in Korean].
- KS F 2433. (2014). Standard Test Method for Bleeding and Expansion Ratios of Grouting Mortar, KS Standard, Korea [in Korean].
- KS F 2476. (2012). Test Method for Polymer-Modified Mortar, KS Standard, Korea [in Korean].
- KS F 4044. (2014). Hydraulic-Cement Grout(nonshrink), KS Standard, Korea [in Korean].
- KS L 5111. (2012). Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, KS Standard, Korea [in Korean].
- Lee, J.K., Choi, J.H., Yoon, J.S., Cho, I.S. (2010). Study on material segregation of grout and filling characteristic of grouting for post-tensioned concrete beam, Journal of the Korea Concrete Institute, **22(3)**, 419–426 [in Korean].

실린더 직경과 강연선 개수가 시멘트 페이스트의 블리딩에 미치는 영향

본 연구에서는 PSC 그라우트의 블리딩 예측을 위한 블리딩 시험에 사용되는 실린더의 직경과 강연선의 개수가 시멘트 페이스트 (물-시멘트 비 0.42)의 블리딩에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 실험변수로 실린더의 직경과 강연선의 개수를 달리하였다. 실린더의 직경은 쉬스관의 직경 범위를 고려하여 25, 50, 75, 100, 150mm이며, 모든 직경변수에 대하여 강연선 유·무에 따른 블리딩 실험을 수행하였다. 또한 직경 50mm 실린더에 대해서는 강연선을 증가(0, 1, 2, 3(EA))시켜가며 실험을 수행하였다. 강연선이 없는 경우 블리딩률은 2% 이하로 매우 작게 발생하며 측정오차 범위 내에서 모든 실험체가 비슷한 수준으로 발생하였다. 강연선이 있는 경우 블리딩률이 최대 10%까지 발생하였으며, 실린더의 직경이 증가할수록 점차 감소하는 것으로 나타났다. 특히 실린더 직경 50-100mm 구간에서 블리딩률이 급격히 변화하였다. 또한 강연선의 개수가 증가함에 따라 블리딩률이 점차 증가하였으나, 측정오차를 고려할 때 무시할 수 있는 수준으로 나타났다. 따라서 블리딩 실험을 수행함에 있어 1가닥의 강연선을 배치하고 실제 쉬스관의 직경을 고려하여 직경 50-100mm 범위에서 실린더를 선택하는 것이 가장 합리적인 방법이라고 판단된다.