

Research Paper

PVA 및 붕사를 사용한 고유동 모르타르의 거푸집 누출량 저감 가능성 분석

Possibility Analysis on Reducing Formwork Leakage of High-fluidity Mortar by Using PVA and Borax

김영기¹ · 이유정² · 허준호³ · 한동엽^{4*}

Kim, Young-Ki¹ · Lee, Yu-Jeong² · Heo, Jun-Ho³ · Han, Dongyeop^{4*}

¹Master Student, Department of Architectural Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea

²Doctoral Student, Department of Architectural Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea

³Undergraduate Student, Department of Architectural Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea

⁴Associate Professor, Department of Architectural Engineering, and Engineering Research Institute, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea

*Corresponding author

Han, Dongyeop
Tel : 82-55-772-1758
E-mail :
donald.dyhan@gnu.ac.kr

ABSTRACT

This research is to reduce the formwork leakage of high-fluidity concrete caused by insufficient accuracy of formwork fabrication widely used for high-fluidity concrete to general strength concrete. However, in the actual construction site, because of the insufficient accuracy of formwork fabrication may cause leaking concrete of mortar through a gab of the formwork. Therefore, in this research, which builds on previous research into providing thixotropy with PVA and Borax, the use of thixotropy to reduce high-fluidity mortar leakage was evaluated. The results of the experiment proved that the use of thixotropy with PVA and Borax can contribute to reduction of the formwork leakage of high-fluidity mortar. This finding is expected to lead to further research on reducing leakage of high-fluidity concrete.

Keywords : polyvinyl alcohol, borax, high-fluidity mortar, thixotropy, fluidity

Received : February 4, 2022

Revised : February 23, 2022

Accepted : February 28, 2022

1. 서론

고유동 콘크리트는 유동성이 높은 콘크리트로 시공성이 우수하여 노동자의 숙련도가 저하하는 상황이나 건축물의 단면이 복잡한 경우 양호한 품질의 콘크리트 타설이 가능하다[1,2]. 또한, 시공 속도를 증가시킬 수 있어 그 효용 가치가 매우 높다. 한편, 콘크리트의 높은 유동성은 거푸집 조립의 정밀도를 전제로 하고 있다. 즉, 콘크리트의 유동성 증가에 따른 측압의 증가와 더불어 거푸집 틈새를 통한 콘크리트의 유출은 고유동 콘크리트 적용 시 중요하게 고려해야 할 사항이다[3]. 그러나 일반강도 콘크리트의 경우는 고강도 콘크리트가 사용되는 대형 건설 현장보다는 소규모의 일반 주택, 다가구 및 공동주택 등에 사용되는 경우가 많다. 즉, 공사관리 측면에서 부족한 거푸집 관리로 인해 일반강도 콘크리트를 고유동화할 경우 거푸집 측압이나 불량한 조립상태의 거푸집에 의해 콘크리트가 누출되는 경우가 있을 것으로 예상된다. 그러므로 이러한 고유동 콘크리트의 특성에 기인하여 일반강도 콘크리트 배합을 사용하는 대부분의 소규모 현장에서는 여전히 유동성이 낮은 형태의 콘크리트가 사용되어 콘크리트 품질의 악화가 예상된다. 기존의 유동성이 낮은 일반강도 콘크리트를 사용하는 경우에도 거푸집의 조립 정밀도가 높았다고 보기는 어려우며 거푸집 조립에 있어 다소 틈새가 있을 수 있다. 그러나 유동성이 낮은



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

일반강도 콘크리트의 경우 굳지 않은 상태의 콘크리트 거동이 흐름(flow)보다는 무너짐(slumping)에 가까웠기 때문에 거푸집 틈새로 모르타르 및 콘크리트가 누출되지 않았다. 그러므로 유동성이 높은 콘크리트를 사용하기 위해서는 이러한 거푸집의 틈새가 없이 관리되어야 하거나 콘크리트의 유동 형태가 개선되어야 한다. 이에 대한 대안으로 본 연구에서는 일반강도 범위 콘크리트의 고유동성을 부여함과 동시에 요변성(Thixotropy)을 부여하고자 한다.

요변성은 대상 물체에 대하여 외력이 가해지는 조건에서 점도가 낮아지고 가해진 외력이 제거된 후 다시 점도를 회복하는 성질을 말한다[4]. 레올로지에서 점도란 유체 유속의 역수로 정의되므로 점도가 낮은 것은 유체의 유속이 높다는 것을 의미하고 점도가 높은 경우 유체의 유속이 낮다는 것을 의미한다. 즉, 콘크리트에 대해 요변성을 부여하게 되면 콘크리트가 펌프 압송 및 타설과 같이 외력이 작용되는 경우에 의해 낮은 점도를 갖지만 펌프 압송이나 타설이 완료된 시점에서는 점도를 회복하여 유동이 저지되는 현상을 기대할 수 있다. 이러한 요변성은 이미 Ferron 등에 의해 자기 충전 콘크리트의 거푸집 측압을 제어하기 위한 방법으로 사용되었는데, 이 경우에는 점도를 콘크리트 배합에 추가하여 요변성을 부여하였다[5]. 본 연구에서는 요변성을 Polyvinyl alcohol(PVA)와 Borax(붕사)의 가역적 결합을 이용하여 시멘트 모르타르에 부여하고자 하였다. 그 결과 고유동성 모르타르가 거푸집 틈새에서 누출되는 양을 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 본 기술을 통해 일반강도의 콘크리트에 대해 고유동성을 부여하고 일반적인 건설 현장에서도 활용할 수 있는 기초자료로 삼고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

Table 1. Experimental plan

Mixture conditions			Test	
Phase 1	w/c*	0.35, 0.40, 0.45	- Table flow(with and without dropping) - Thixotropy - Leaking weight and length - Compressive strength @ 28 days	
	Cement : Sand	1 : 1		
	Gap(mm)	3, 5, 7, 9		
	Superplasticizer	Type		General Superplasticizer
		Dosage(% cement mass)		0.3
	PVA**	Type		suspension
		Dosage(% cement mass)		0, 2, 4, 6, 8
	Borax***	Type		suspension
		Dosage(% of PVA mass)		50
	Phase 2	w/c*		0.35, 0.40, 0.45
Cement : Sand		1 : 1		
Gap(mm)		3, 5, 7, 9		
Superplasticizer		Type	General Superplasticizer	
		Dosage(% cement mass)	0.4, 0.55, 0.7 for each w/c case	
PVA**		Type	suspension	
		Dosage(% cement mass)	0, 2, 4, 6, 8	
Borax***		Type	suspension	
		Dosage(% of PVA mass)	50	

* Water-to-cement ratio

** 7% PVA suspension

*** 5% Borax suspension

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다. Lee et al.[4] 등은 PVA 및 붕사를 사용하여 고요변성 시멘트 계열 재료를 제조하기 위한 기초 물성을 분석하는 것에 대해 사전에 연구하였고 이를 바탕으로 PVA, 붕사의 적정 사용량, 즉 PVA 첨가량 6%와 PVA 중량대비 50%가 붕사 중량임을 확인함에 따라 본 연구에서는 PVA와 붕사 첨가에 따른 고유동·고요변성 모르타르의 틈새 누출량 저감 가능성 여부를 확인하기 위한 실험을 계획하였다. 실험은 두 단계로 진행하였다.

첫 번째 실험은 콘크리트의 일반강도인 31, 27, 24MPa를 달성하는 것으로 확인된 물시멘트비 0.35, 0.40, 0.45의 배합에 대해 실험을 계획하였다. 모르타르 배합을 위해 시멘트와 잔골재비는 일반적인 시멘트 계열의 고유동 배합에 적절하다고 판단되는 1:1로 배합으로 계획하였으며 또한 고성능 감수제는 시멘트 중량대비 0.3%를 고정하여 혼입하는 것으로 계획하였다. 이렇게 준비된 일반강도의 고유동 모르타르에 대해 요변성 부여 정도를 평가하기 위해 PVA, 붕사 용액을 사용하여 시멘트 중량대비 0%에서 8%까지 5가지 경우로 준비하였다. 고유동·고요변성 모르타르의 성능을 판단하기 위한 시험은 테이블 플로 시험을 통한 요변성 정도 평가 및 레올로지를 이용한 정량적인 요변성 측정을 실시하였다. 이후 실질적인 틈새 누출 방지 성능을 확인하기 위하여 거푸집에서 발생 가능할 것으로 예상하는 틈새를 3mm에서 9mm까지 4가지 단계로 구분하여 누출 정도를 평가하였다. 누출 정도는 틈새에 누출된 모르타르에 대해 누출 중량 및 길이를 측정하였다. 마지막으로 PVA 및 붕사 사용에 따른 콘크리트 성능 변화를 확인하기 위해 재령 28일에 압축강도를 측정하였다.

두 번째 실험은 유동성을 통일한 정도의 고유동 모르타르에 대해 PVA 및 붕사 용액의 양을 변화시켜 그에 따른 요변성 변화 및 틈새 누출 경향을 평가하였다. 즉, 첫 번째 실험과 유사한 범위에서 배합을 계획하였으며 이에 대해 미니슬럼프 플로 시험에 의한 결과가 200±15mm 범위에 도달하여 유동성을 통일한 배합으로 결정하였다. 이렇게 배합이 결정된 고유동 모르타르에 대하여 첫 번째 실험과 동일한 Test를 시행하여 요변성 및 누출 감쇠 가능성 여부에 대한 분석 및 평가를 하였다.

2.2 사용재료 및 모르타르 배합

모르타르 제조를 위한 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 배합수는 일반 수돗물을 사용하였으며 잔골재는 부순 모래와 강모래를 혼합하여 Figure 1의 표준 입도 곡선에 맞추어 사용하였다. 사용된 시멘트의 물리, 화학적 특성은 Table 2와 같다. 또한, 모르타르의 유동성을 증진시키기 위해 폴리칼복실계 고성능 감수제를 사용하였으며 일반적인 특성은 Table 3에 나타내었다. PVA는 농도 7%로 제조된 수용액을 사용하였고 붕사는 농도 5% 수용액을 실험실에서 직접 제조하였으며 PVA 및 붕사의 일반적인 특성은 Table 4와 같다. 모르타르는 PVA와 붕사의 상호 반응을 고려하여 모르타르를 먼저 제조하고 PVA 용액을 혼입하여 믹싱한 후 붕사 용액을 혼합하여 믹싱하였고 전체적인 배합 순서는 Figure 2에 나타내었다. 모르타르 배합은 KS L 5109에 의거하여 시행하였다.

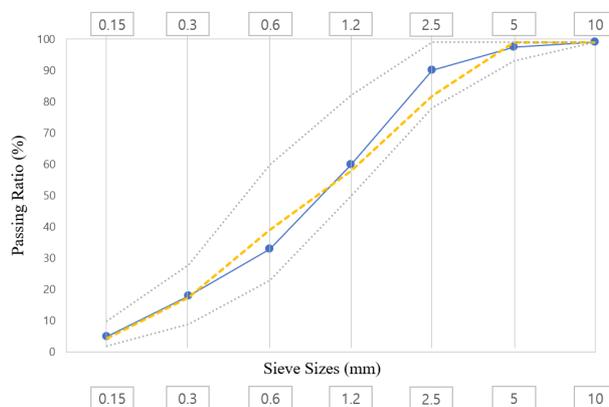


Figure 1. Particle size distribution of fine aggregate

Table 2. Physical and chemical properties of cement

Density(g/cm ³)	Blaine(cm ² /g)	Soundness(%)	Chemical component(%)				
			CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Al ₂ O ₃
3.15	3,390	0.05	63.4	22.0	3.44	1.96	5.27

Table 3. Physical properties of superplasticizer

Type	Phase	Color	Main component
Generic type	Liquid	Brown	Polycarboxylate

Table 4. Physical properties of PVA, Borax

Type	Phase	Color
Generic type	Liquid	Ivory

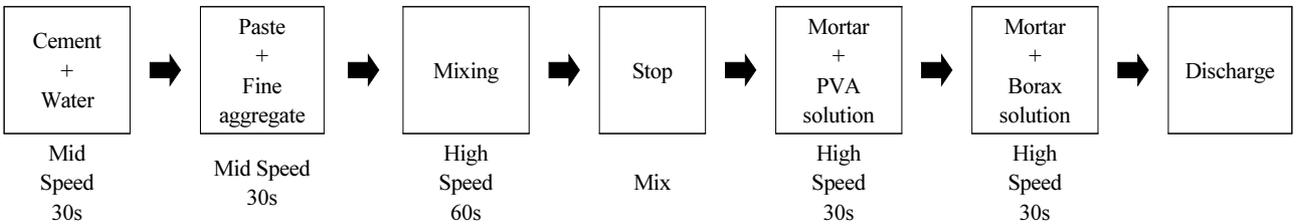


Figure 2. Mortar mixing protocol

2.3 시험방법

본 연구에서는 고유동 모르타르에 요변성을 부여하여 틈새에 대한 누출저감 가능성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 고유동 및 고요변성 확인을 위해 테이블 플로를 이용하여 모든 시험을 진행하기 전에 유동성을 먼저 확인하였다. 플로 테스트는 KS L 5111의 플로 테이블을 이용하여 측정하였으며 최초 슬럼프 콘을 들어 올린 후의 비타격 조건과 이후 15회 타격한 조건을 비교하였다. 또한, Anton Paar사의 MCR 302e 레오미터를 이용하여 요변성 및 소성점도, 항복응력을 측정하였는데, 레오미터 사용을 위한 지오메트리는 Anton Paar사에서 제공하는 Building materials cell(BMC)를 이용하여 Figure 3에 나타내는 hysteresis loop을 이용하여 측정하였으며 요변성은 레오미터 소프트웨어를 통해 계산하였고 소성점도, 항복응력은 레오미터 소프트웨어를 통해 측정된 shear stress 값들을 종합하였다.

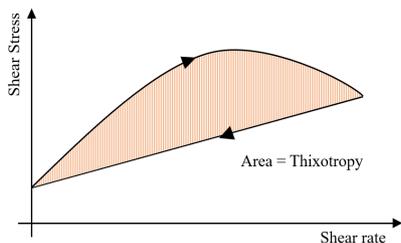


Figure 3. Hysteresis loop for Thixotropy

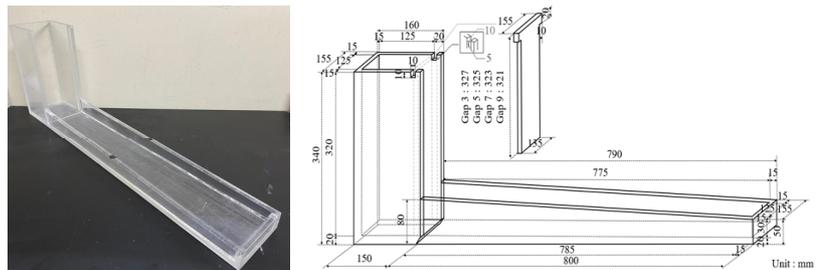


Figure 4. Formwork Leakage test set-up

본 연구에 최적화된 누출 경향 시험기는 Figure 4와 같이 자체 제작되었는데 모르타르 배합이 끝난 직후 과도한 타설 높이에 의한 재료분리를 방지하기 위해 높이 500mm 이내의 범위에서 타설하였으며 누출 경향 시험기에서 확인할 수 있는 누출 중량 및 길이를 측정하기 위하여 길이 780mm의 슬롯을 제작하여 누출 경향을 분석하였다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 1단계 시험: 배합조건 통일

3.1.1 플로

PVA 및 붕사 첨가에 따른 테이블 플로 실험 결과를 Figure 5에 나타냈으며 추가로 타격을 실시하지 않은 모든 플로우는 외력이 추가적으로 가해지지 않는 상황에서는 유동성이 발휘되지 않는 것을 확인하였다. Figure 5의 (a)의 경우 물시멘트비 0.35에 따른 플로우 결과를 나타내며 타격을 실시하지 않은 경우 PVA 및 붕사 첨가량이 증가할수록 플로는 감소하였다. 타격을 실시한 경우 PVA 및 붕사 첨가량이 증가할수록 플로는 감소하였는데 외력이 가해진 경우 발현된 요변성에 의해서 플로우가 감소한 것이라고 판단된다. 4%부터 고요변성에 의한 모르타르의 유동성 악영향으로 실시하지 않았다. Figure 5의 (b)는 물시멘트비 0.40의 경우인데 타격을 실시하지 않은 경우 4%까지 플로우가 증가하였다. 이는 낮은 요변성으로 영향을 미치지 못한 것으로 판단되며 6%부터는 플로우가 다시 감소하였다. 타격을 실시한 경우 6%까지 동일하게 250mm이 나타났고 8%인 경우 15회 타격을 실시 후 플로 테이블에서 넘치지 않았는데 이는 고요변성이 발현된 것이라고 판단된다. Figure 5의 (c)는 물시멘트비 0.45의 경우이며 타격을 실시하지 않은 경우 4%까지 플로우가 증가하는 것을 나타냈다. 이는 배합수 증진 효과가 나타난 것이라고 판단되며 6%부터는 다시 감소하였다. 모르타르 분체량 대비 적절한 요변성이 발현되어 본 실험의 취지인 누출 감쇠에 효과가 있을 것으로 판단된다. 타격을 실시한 경우 모두 동일하게 250mm 이상으로 넘침이 나타났고 비교적 높은 물시멘트비이기 때문에 유동성이 너무 높거나 소량의 요변성 발현으로 효과가 나타나지 않았다고 판단된다.

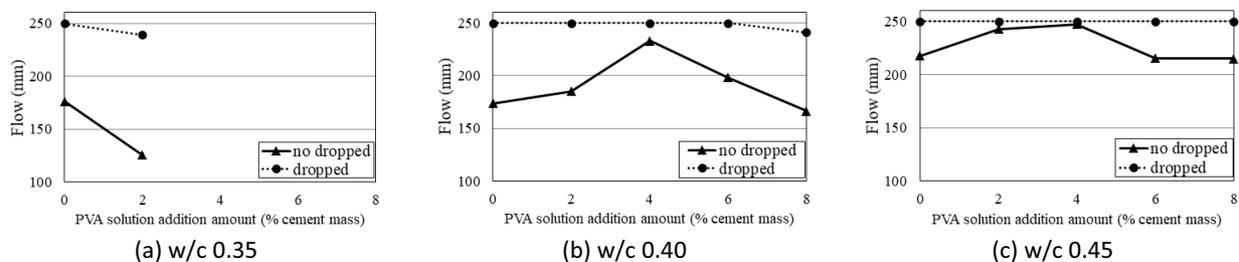


Figure 5. Influence of PVA and Borax solution on Flow depending on dropping action

3.1.2 레올로지

PVA 및 붕사 용액 첨가량에 따라 빙힘 모델을 사용한 항복응력 및 소성점도, hysteresis loop 방법에 의한 요변성의 결과를 각각 Figure 6, 7, 8에 나타내었다. 물시멘트비 0.35는 전반적으로 PVA, 붕사를 첨가하면서 급격히 높아지는 것으로 나타내었다. 또한 4% 이상인 경우 PVA와 붕사의 결합이 과도하여 레오미터에 의한 측정 자체가 불가능하다고 판단하여 실험은 실행하지 않았다.

Figure 6의 결과를 토대로 물시멘트비 0.40, 0.45에서는 PVA와 붕사를 사용한 요변성 증진 유도가 가능한 것으로 보인다. 전체적으로 요변성이 발현되지 않은 경우와 비교하여 요변성이 발현된 모르타르의 경우 낮은 항복응력을 보이는 결과가 나타나았다. 이는 수용액 상태의 PVA와 붕사의 첨가에 따른 영향으로 보인다. 다만, 6%를 기준으로 미세하게 항복응력이 증가

하였는데, 이는 PVA와 붕사에 의한 결합의 영향으로 보인다. 소성점도의 결과는 Figure 7에 나타내었다. 물시멘트비 0.40, 0.45에서 PVA 및 붕사 첨가량이 증가하는 경우 소성점도가 감소하였다. 이는 수용액 상태로 첨가된 PVA 및 붕사의 영향으로 보여진다. 다만, 항복응력의 결과와는 다르게 PVA 및 붕사의 첨가량이 증가하여도 소성점도가 증진되는 모습을 보이지는 않는데, 이는 항복응력은 유체가 유동을 시작하기 위한 힘, 즉, 미세구조의 결합 및 붕괴 용이성 정도를 반영한 성질인 반면에 소성점도는 Krieger-Dougherty의 이론처럼 수용액 조건에서 고형물과 액체의 관계에서 결정되기 때문인 것으로 판단된다. PVA와 붕사의 첨가에 따른 모르타르의 요변성 증진 효과를 직접 측정한 결과를 Figure 8에 나타내었다. 결과에서 나타내는 바와 같이 PVA 및 붕사 첨가량이 증가할수록 모든 물시멘트비에서 요변성이 증가하는 것을 확인하였다.

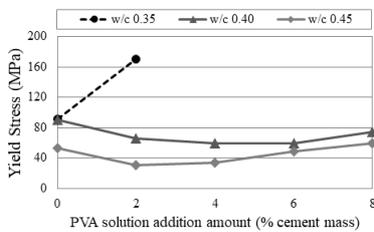


Figure 6. Influence of PVA and Borax solution on Yield stress depending on water-to-cement ratio

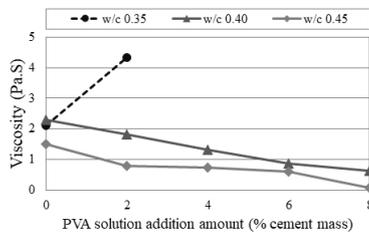


Figure 7. Influence of PVA and Borax solution on Viscosity depending on water-to-cement ratio

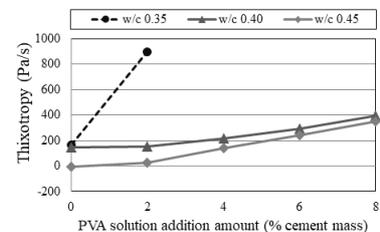


Figure 8. Influence of PVA and Borax solution on Thixotropy depending on water-to-cement ratio

3.1.3 누출 중량 및 누출 길이

PVA 및 붕사의 결합으로 발현된 요변성이 거푸집 틈새에 대한 누출 저감효과를 분석하기 위해 누출 중량 및 누출된 길이를 Figure 9에 나타내었다.

먼저 Figure 9의 (a)에서 틈새 폭이 3mm인 경우 물시멘트비에 따른 PVA 및 붕사 첨가량 증가에 따라 누출량의 차이는 틈새 폭이 작았기 때문에 누출 중량에는 크게 차이가 없었으나 길이에서 차이가 나타났지만 뚜렷한 효과를 기대할 수 없었다. 물시멘트비 0.40의 경우 PVA 및 붕사 첨가량이 증가하면서 누출 길이가 모두 유사하게 나타났다. 물시멘트비 0.45의 경우 0%에서 2%로 증가하면서 누출 길이가 증가하였는데 이는 적은 배합수 증진효과가 나타났다고 판단된다. 이후 PVA 및 붕사 첨가량이 증가할수록 누출 길이는 감소하였다. PVA 및 붕사 첨가량이 증가할수록 적절한 요변성이 발현된다고 판단되지만 0%인 경우보다는 모두 높으므로 그 자체로 실용적인 효과를 얻었다고 보기는 어려웠다. 다만, 연구의 최종 목적이 콘크리트에 대한 누출 감소 효과를 얻는 것이기 때문에 PVA와 붕사의 결합이 요변성을 부여하고 이 요변성으로 인해 누출을 방지할 수 있는 효과는 확인하였다. Figure 9의 (b)의 경우 틈새 폭이 5mm를 나타내었는데 틈새 폭 3mm에 비해 누출 경향이 육안으로 확인되었다. 물시멘트비 0.35의 경우 요변성 발현에 따른 누출 저감효과는 확인되지 않았다. 물시멘트비 0.40의 경우 PVA 및 붕사 첨가량이 증가할수록 누출 중량 및 길이가 감소하였다. 이는 적절한 요변성이 발현되었다고 판단되며 누출저감에 효과가 있다고 판단된다. 물시멘트비 0.45의 경우 0%에서 2%로 증가할 때 누출 중량 및 길이가 증가하는데 이는 배합수 증가 효과만이 발현되었다고 판단되며 이후 6%까지는 누출 중량 및 누출 길이가 감소하였으나 8%에서는 증가하는 것으로 이는 고요변성에 의해 유동성에 악영향을 미쳤다고 판단된다. Figure 9의 (c)의 경우 틈새 폭이 7mm인 경우를 나타내었는데 물시멘트비 0.35와 0.40의 경우 PVA 및 붕사 첨가량이 증가할수록 점차 누출 중량 및 길이가 감소하였다. 다만 물시멘트비 0.45의 경우 PVA 및 붕사 첨가량에 따라 누출 중량 및 길이가 모두 유사하였고 누출 중량 5500g 이상이거나 누출 길이 780mm인 경우 누출 경향 시험기에 가득 찬 형상을 보였으며 이는 정확한 누출 중량 측정에는 한계가 발생하여 추후에 진행될 연구에서는 누출 중량 측정 시 오차를 줄이기 위한 추가적인 분석 및 연구가 필요할 것이다. Figure 9의 (d)는 틈새 폭

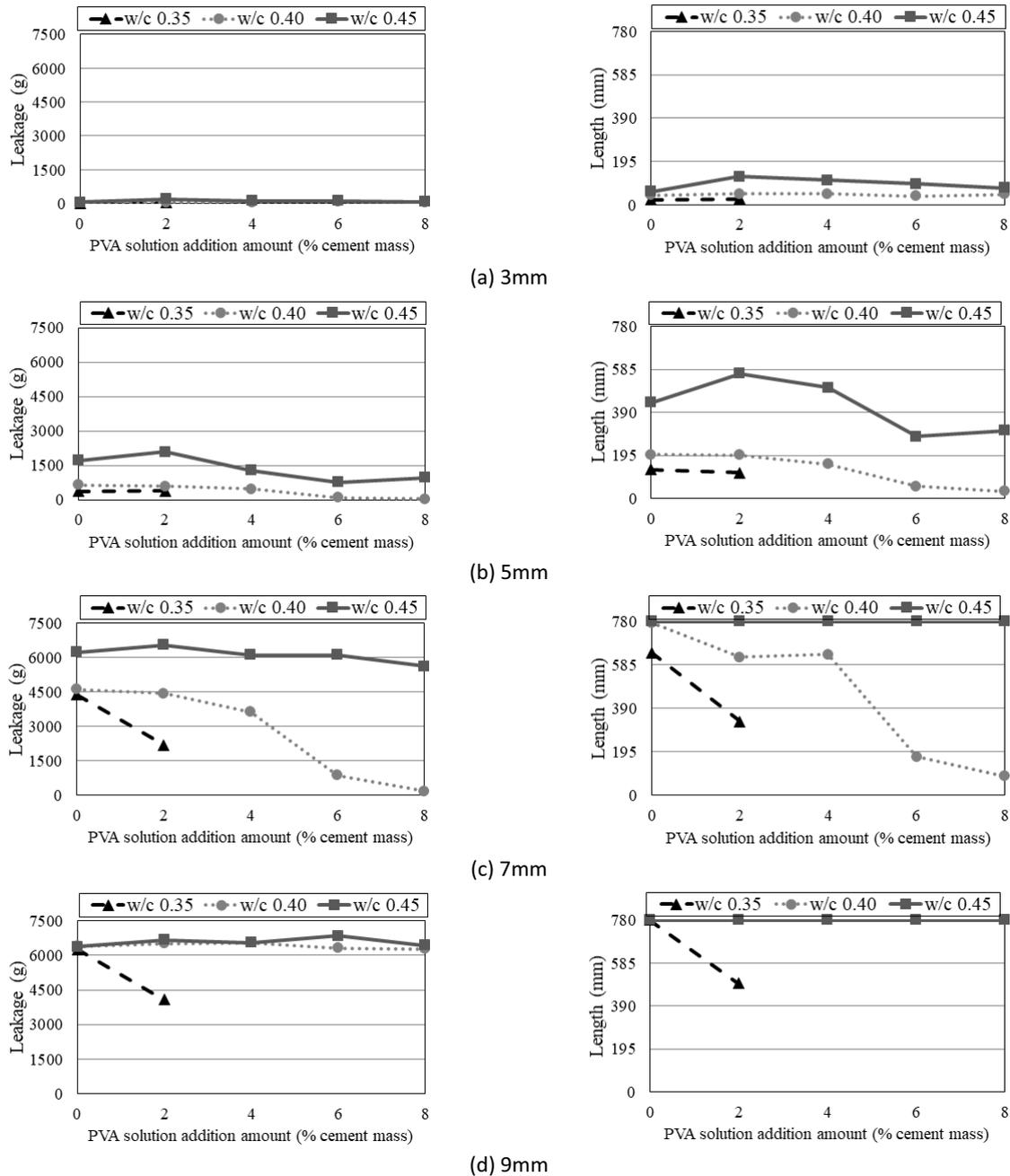


Figure 9. Influence of PVA and Borax solution on Leakage and Length depending on water-to-cement ratio

이 9mm인 경우를 나타내는데 물시멘트비 0.35의 경우 PVA 및 붕사 첨가량이 증가함에 따라 누출 중량이 감소하였지만, 물시멘트비 0.40과 0.45의 경우 누출 중량 5500g 이상 및 길이 780mm 이상이었기 때문에 요변성 발현을 확인하는 것과 연관이 없다고 판단된다. 거푸집 틈새에 따른 모르타르 누출 방지 가능성 분석에 대한 1단계 시험결과 틈새 폭이 지나치게 크거나 작은 경우 요변성 발현에 따른 결과를 확인하기 어려웠다. 다만, 전반적인 시험의 결과를 토대로 PVA와 붕사에 의한 요변성 부여가 거푸집 틈새로 누출되는 모르타르 양이 감소할 가능성은 확인하였으며 향후 추가적인 연구를 통해 콘크리트에 적용하여 실무에 적용 가능한 PVA 및 붕사의 사용량, 물시멘트비 혹은 유동성 수준에 따른 PVA 및 붕사 사용량 등을 규정할 수 있을 것으로 판단된다.

3.1.4 압축강도

본 연구의 PVA 및 붕사 용액의 첨가량이 압축강도에 미치는 영향에 대해 분석하여 Figure 10에 나타내었다. PVA 및 붕사는 수용액 상태로 첨가됨과 동시에 배합수의 양이 증가하는 것이기 때문에 모든 물시멘트비에서 PVA 및 붕사 용액 첨가량이 증가할수록 압축강도는 감소하였다. 다만, 물시멘트비 0.35에서 4% 이상인 경우 슬럼프 플로 테스트와 레올로지 테스트 및 누출량, 누출 길이 실험이 불가능하였기 때문에 압축강도는 생략하였다.

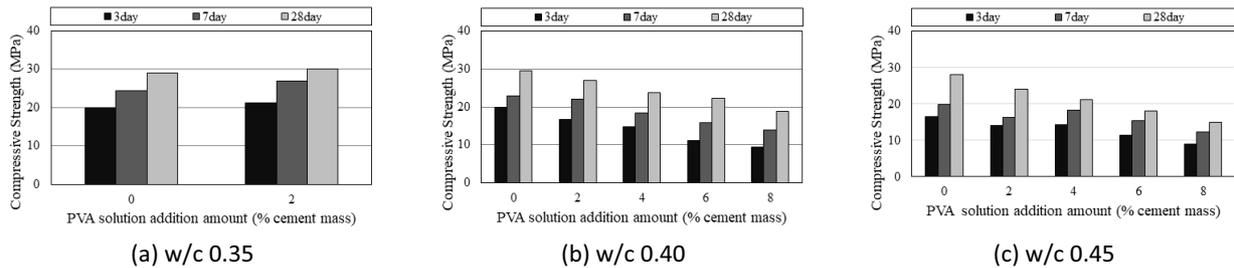


Figure 10. Influence of PVA and Borax solution on Compressive Strength depending on age

앞서 언급했던 바와 같이 콘크리트의 일반강도인 31, 27, 24MPa를 달성하는 것으로 확인된 물시멘트비 0.35, 0.40, 0.45의 배합에 대한 실험을 한 것인데 Figure 10의 플레인 강도 값의 차이는 매우 작은 것을 확인할 수 있다. 이에 따른 원인은 현재 파악되지 않으며 추후에 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

추가적으로 물시멘트비 0.40의 경우 PVA 및 붕사 첨가량이 0%부터 2%씩 증가할 때마다 28일 기준으로 압축강도는 각각 8.68%, 11.98%, 5.84%, 15.64% 감소하였고 평균적으로 2% 증가할 때마다 압축강도는 10.54%씩 감소하는 것과 같다고 할 수 있다. 물시멘트비 0.45의 경우 0%부터 2% 증가할 때마다 28일 기준으로 각각 14.22%, 12.03%, 14.71%, 17.07% 감소하였고 평균 14.51% 감소하는 것과 같다고 할 수 있다. 첨가량이 2% 증가할 때마다 압축강도는 10.54%씩 감소하였고 물시멘트비가 0.45인 경우 2% 증가할 때마다 압축강도는 14.51%씩 감소한 것에 따라 물시멘트비가 높아질수록 PVA 및 붕사 용액 첨가량 증가에 따른 압축강도 폭이 더 커지는 것을 확인하였다. 이는 물시멘트비가 높아질수록 PVA 및 붕사를 첨가할 때 같이 첨가되는 물에 의한 영향으로 압축강도에 큰 영향을 미친 것으로 판단이 되며 추후 추가적인 분석 및 연구가 필요할 것이다.

3.2 2단계 시험: 유동성 통일

3.2.1 플로

서로 다른 물시멘트비에서 감수제 양을 조정하여 유동성을 통일한 후 두 번째 실험을 진행하였다. 먼저, 물시멘트비 0.35와 0.40의 균지 않은 모르타르의 타격을 실시하지 않은 경우 및 타격을 실시한 플로우의 실험 결과를 Figure 11의 (a), (b)에 나타내었다. 물시멘트비 0.35와 0.40에서 타격을 실시하지 않은 경우 PVA 및 붕사 첨가량이 2%일 때 0%보다 높은 것을 확인하였다. 이는 배합수 증진 효과가 나타난 것으로 판단되며 4% 이상일 때 타격을 실시하지 않은 경우 플로우는 급격히 감소하여 적절한 요변성이 발현된 것으로 판단된다. 물시멘트비 0.35에서 타격을 실시한 경우 2%까지 넘침이 발생하였고 이후 첨가량이 증가할수록 플로우가 점차 감소하였다. 물시멘트비 0.40에서 타격을 실시한 경우는 2%인 경우 넘침이 발생하였고 이후 감소하였다. 물시멘트비 0.35와 0.40에서 8%인 경우 고요변성으로 모르타르의 유동성에 악영향이 미친 것으로 판단하여 실험을 진행하지 않았다. Figure 11의 (c)에 물시멘트비 0.45의 경우 PVA 및 붕사 첨가량에 따른 플로우를 나타내었다. PVA 및 붕사 첨가량이 4%까지 플로우가 증가하였는데 배합수 증진 효과가 나타난 것으로 판단된다. 6% 이상인 경우 타격을 실시하지 않은 플로우는 감소하였다. 타격을 실시한 경우의 플로우는 타격을 실시하지 않은 플로우와 유사하게 4%

까지 증가하였고 이후 감소하였다. 특히 물시멘트비 0.45에서 8%인 경우 플로우가 150mm 미만으로 감소하였는데 PVA 및 붕사의 과도한 양에 의한 것으로 판단된다.

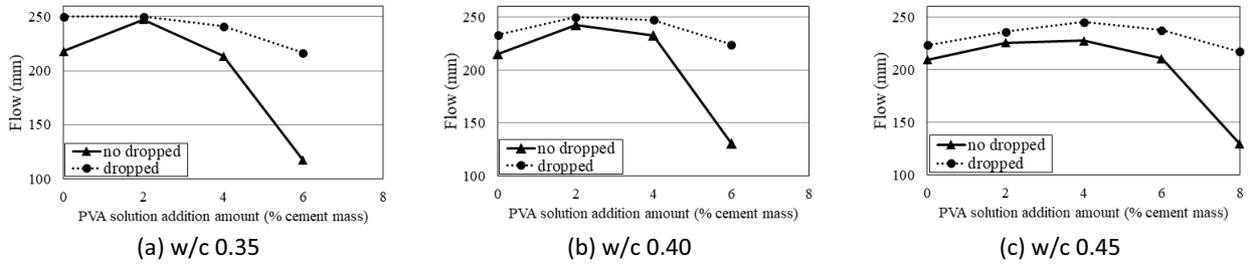


Figure 11. Influence of PVA and Borax solution on Flow depending on dropping action

3.2.2 레올로지

PVA 및 붕사 용액 첨가량에 따른 시멘트 모르타르의 빙험 모델을 사용한 항복응력 및 소성점도, hysteresis loop 방법에 따른 요변성의 결과를 Figure 12, 13, 14에 나타내었다.

먼저 Figure 12와 13에서 모든 물시멘트비에서 PVA 및 붕사 용액 첨가량이 2%까지 감소하였다. 1단계 실험 결과와 확인한 차이를 알 수 있는데 감수제의 첨가량을 증가시키면 동시에 유동성이 증가함으로써 항복응력은 감소한 것으로 나타났다. 이후 모든 물시멘트비에서 4%에서 6%로 증가할 때 항복응력은 큰 폭으로 증가하는 것을 나타내었다. Figure 12에서 나타내는 항복응력 결과를 토대로 모든 물시멘트비에서 4%까지 유사한 수치의 항복응력을 나타냈으며 6% 이상인 경우 큰 폭으로 증가하였다. 이는 동일한 유동성이기 때문에 다른 물시멘트비에서도 유사한 항복응력이 나타나는 것이라고 판단된다. 소성 점도는 Figure 13에 나타내었으며 전반적으로 모든 물시멘트비에서 2%가 0%보다 낮았으며 이후 다시 증가하였다. 다만 물시멘트비 0.45에서 6% 이상부터 소성점도가 감소하였는데 이는 정확한 근거가 추측이 명확하지 않으므로 추가적인 연구를 통하여 원인을 분석할 필요가 있다고 판단된다. PVA 및 붕사 첨가에 따른 모르타르의 요변성 증진 효과를 측정한 결과를 Figure 14에 나타내었다. 모든 물시멘트비에서 PVA 및 붕사 용액 첨가량이 4%까지는 소폭 증가하였으나 6% 이상인 경우 크게 증가하였다. 이는 PVA 및 붕사에 의해서 요변성이 발현이 되었다고 판단된다.

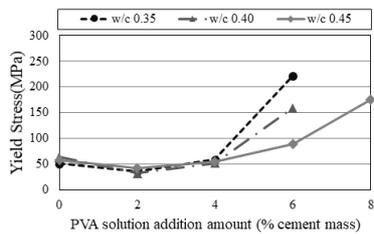


Figure 12. Influence of PVA and Borax solution on Yield stress depending on water-to-cement ratio

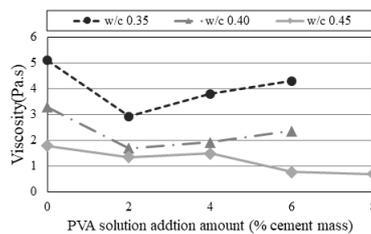


Figure 13. Influence of PVA and Borax solution on Viscosity depending on water-to-cement ratio

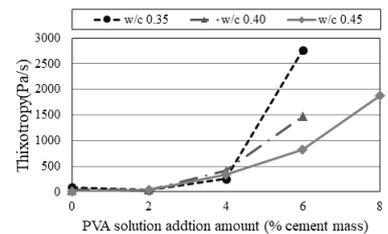


Figure 14. Influence of PVA and Borax solution on Thixotropy depending on water-to-cement ratio

3.2.3 누출 중량 및 누출 길이

유동성 동일에 의한 모르타르를 바탕으로 PVA 및 붕사의 결합에 의해 발현되는 요변성이 유동성에 미치는 영향을 분석하기 위해 첫 번째 실험과 동일한 과정으로 이루어진 누출 중량 및 길이를 Figure 15에 나타내었다.

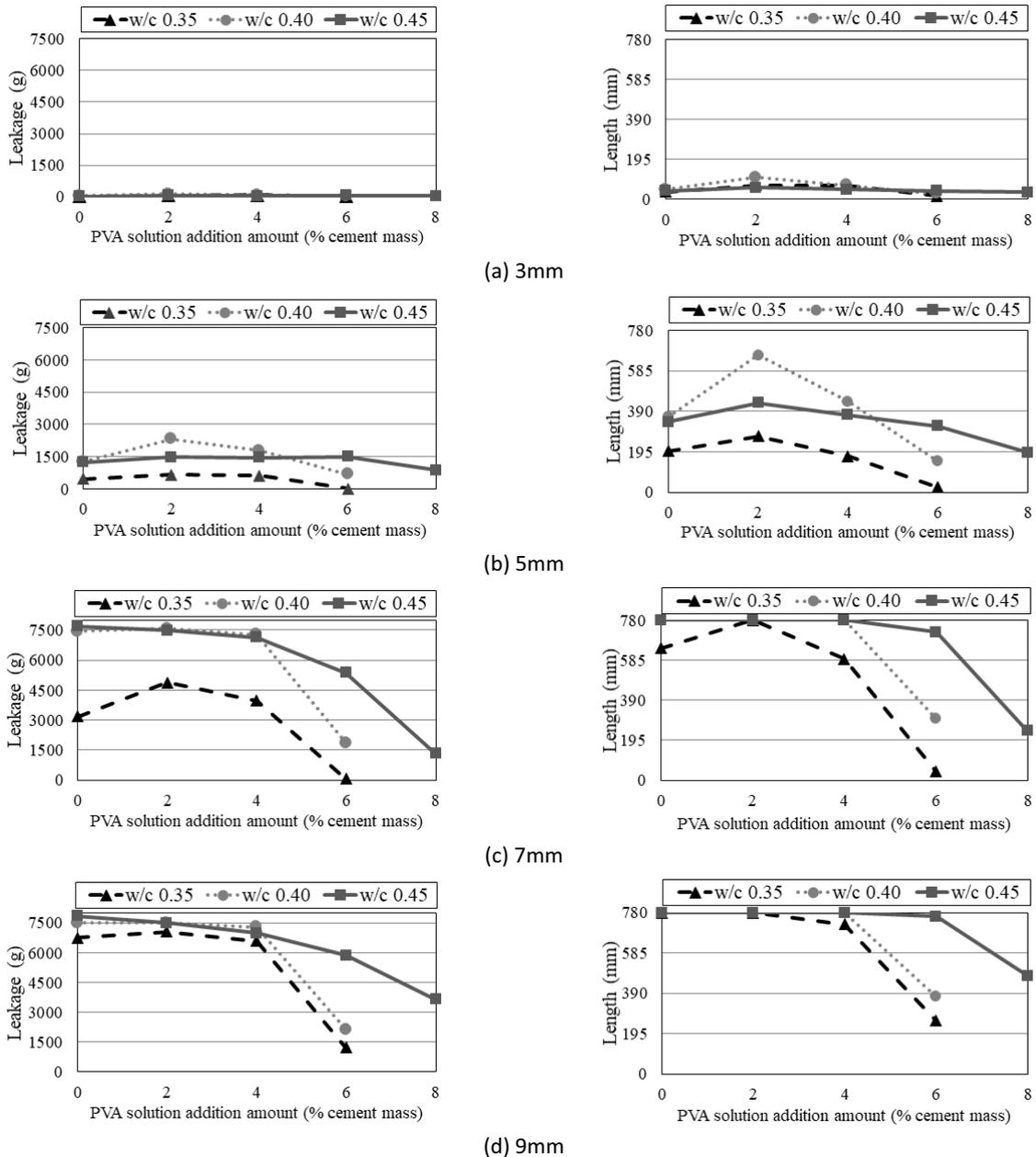


Figure 15. Influence of PVA and Borax solution on Leakage and Length depending on water-to-cement ratio

먼저 Figure 15의 (a)의 경우 틈새 폭이 3mm인 경우 각각의 물시멘트비에 대한 PVA 및 붕사 첨가량에 따른 누출 중량 및 길이를 나타내었다. 물시멘트비 0.35의 경우 4%까지 누출 중량 및 길이가 증가하였고 이후 6%에서는 급격히 감소하였다. 물시멘트비 0.40의 경우 2%일 때 누출 중량 및 길이가 급격히 증가하였으며 4% 이상일 때부터는 감소하였다. 물시멘트비 0.45의 경우 2%일 때 누출량이 가장 많았으며 이후 급격히 감소하였다. 물시멘트비 0.45의 경우 PVA 및 붕사 첨가량이 증가함에 따라 누출 저감에 효과가 있는지 확인하게 확인할 수는 없었다. 이는 높은 물시멘트비이기 때문에 요변성이 발현되지 않은 것으로 판단된다. Figure 15의 (b)는 틈새 폭이 5mm인 경우를 나타내었다. 물시멘트비 0.35의 경우 2%일 때 누출량이 가장 많았다. 4% 이상에서는 요변성이 발현되면서 누출 중량 및 길이가 감소하였다. 물시멘트비 0.40의 경우 2%일 때 누출량이 가장 많았으며 이후 감소하였다. 4%이하는 0%보다 많은 누출량을 나타내었으므로 결과적으로 6%가 누출 저감에 효

과가 있다고 판단된다. 물시멘트비 0.45의 경우 PVA 및 붕사 첨가량이 증가함에 따라 누출 길이는 감소하였으나 누출 중량은 6%까지 유사하였다. 결과적으로 8%가 가장 효과적일 것이라고 제시된다. Figure 15의 (c)는 틈새 폭이 7mm인 경우를 나타내었다. 물시멘트비 0.35의 경우 2%일 때 누출량이 급격히 증가하였으며 4%부터는 감소하였다. 또한 물시멘트비 0.40의 경우 4%까지 누출 중량 및 길이가 최대치를 나타내었으나 6%부터는 급격히 감소하였다. 물시멘트비 0.45의 경우 4%까지 누출 중량 및 길이가 가장 높았으나 6%부터 누출 중량 및 길이가 급격히 감소하였다. 틈새 폭이 7mm인 경우 모든 물시멘트비에서 동일하게 6%부터 누출 중량 및 길이가 급격히 감소하여 누출 저감에 효과가 있다고 판단된다. Figure 15의 (d)는 틈새 폭이 9mm인 경우 누출 중량 및 길이를 나타내었는데 물시멘트비 0.35의 경우 0%부터 4%까지는 모두 가득 차거나 넘쳤으나 6%일 때 감소하였다. 물시멘트비 0.40의 경우 4%까지 가득 차거나 넘쳤는데 6%의 경우 급격히 감소하였다. 물시멘트비 0.45의 경우 PVA 및 붕사 용액 첨가량이 증가할수록 누출 중량은 감소하였으나 누출 길이는 4%까지 최대치를 나타내었으며 이후에는 요변성 발현으로 감소하였다.

두 번째 실험의 가장 큰 특징은 대체적으로 폭에 관계없이 6%일 때 누출량이 급격히 감소하여 누출 저감에 효과가 있었다는 것이며 모든 물시멘트비의 유동성을 통일하여 PVA 및 붕사 첨가에 따른 경향을 확인하였는데 유동성을 통일했음에도 불구하고 0%일 때 모두 다른 누출 경향을 확인하였다. 이는 통일된 유동성이더라도 점도나 요변성에 따라 물성이 확연히 차이가 발생한다는 것으로 판단되며 이에 따른 추가적인 연구가 필요할 것이다.

4. 결론

본 연구는 PVA 및 붕사가 결합하여 요변성이 발현된 고유동 모르타르가 거푸집 틈새 누출 저감의 효과를 분석하고자 하였다. 시험결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 동일배합 조건에서 대체적으로 PVA 및 붕사 첨가량이 4% 이상일 때부터 요변성 발현 및 유동성이 감소하여 누출 감소 효과가 나타났다. 다만 틈새 폭 3mm 및 9mm에서는 누출량이 미비하거나 과도하여 요변성의 효과를 확인할 수 없었으나 틈새 폭 5mm 및 7mm에서는 요변성에 의한 누출량이 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 추가적으로 PVA 및 붕사의 첨가량이 증가할수록 레올로지적 결과값을 도출한 요변성도 점차 증가하는 것을 확인하였으며 항복응력은 첨가량마다 달랐지만 항복응력의 결과와는 다르게 첨가량이 증가할수록 소성점도는 감소하였는데 항복응력은 미세구조의 결합 및 붕괴 용이성 정도를 반영한 성질인 반면에 소성점도는 수용액 조건에서 고형물과 액체의 관계에서 결정되기 때문인 것으로 판단된다.
- 2) PVA 및 붕사를 사용한 고유동 모르타르의 누출 저감에 대한 가능성에 대해서 다음과 같이 제시할 수 있다. 유동성 통일의 결론을 참고하여 PVA 첨가량이 6%일 때 요변성에 의한 누출저감 효과가 확연하게 확인되었으며 이는 틈새 폭이 9mm에서 물시멘트비 0.45미만에서 충분히 적용이 가능할 것이라고 제안할 수 있다.
- 3) Lee et al.[4] 등이 사전에 연구한 내용을 바탕으로 붕사를 시멘트 계열에 첨가하면 응결시간이 급격히 길어지는 현상이 발생하며 PVA와 붕사는 수용액 상태로 첨가되기 때문에 첨가량이 증가할수록 압축강도는 감소하였다. PVA와 붕사의 결합은 유동성과 관련해서는 상당한 이점을 가지고 있으나 응결시간 및 압축강도에 대해서는 아직 추가적인 연구 및 분석이 필요할 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 바탕으로 PVA 및 붕사의 결합으로 발현된 요변성이 콘크리트에는 어떠한 영향을 미치는지에 대해서 실험 및 분석을 할 것이며 그 결과를 통해 콘크리트 또한 요변성에 의한 누출 저감 가능성을 확인하기 위해서 향후 진행할 콘크리트 실험을 진행하면서 원하는 결과를 도출해내기 위해서 본 연구를 콘크리트에 적용한다면 유사하게 누출 저감에 효과가 있을지 사전에 계속해서 검토해야 할 것이며 PVA 및 붕사의 첨가에 의한 압축강도 감소는 혼화재 등의 사용에 의한 결과를 도출하여 이에 대한 원인을 해결해야 할 것이다.

요약

본 연구의 목적은 고유동 콘크리트의 활용범위를 증진시키기 위하여 거푸집 정밀도 부족에 따른 고유동 콘크리트의 누출을 방지 혹은 저감하는 것이다. 일반강도 콘크리트에 고유동성이 부여되는 경우 거푸집의 정밀도가 낮으면 거푸집 틈새로 콘크리트 누출이 우려되는바 일반적인 현장에서 유동성이 높은 일반강도 콘크리트의 적용에 지장이 있다. 이에 본 연구는 이전 연구결과에서 얻어진 PVA와 붕사를 사용한 고요변성 부여하는 방법을 이용하여 고유동 콘크리트에 요변성을 부여하여 거푸집의 누출을 저감하고자 연구를 수행하였다. 연구결과를 통해 PVA와 붕사가 고유동 모르타르 조건에서 거푸집 누출 저감에 기여한다는 것을 증명하였다. 이를 통해 고유동 콘크리트의 거푸집 누출량 저감 연구의 시작점이 될 것으로 기대한다.

키워드 : 폴리비닐알코올, 붕사, 고유동 모르타르, 요변성, 유동성

Funding

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(2021R1C1C11010146).

Acknowledgement

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning(2021R1C1C11010146).

ORCID

Young-Ki Kim,  <http://orcid.org/0000-0003-4159-0492>

Yu-Jeong Lee,  <http://orcid.org/0000-0002-6945-1278>

Jun-Ho Heo,  <http://orcid.org/0000-0001-9980-9990>

Dongyeop Han,  <http://orcid.org/0000-0003-0918-0530>

References

1. Kang BH. The present status on mix design construction technology of high-fluidity concrete. Magazine of the Korea Concrete Institute. 2001 May;13(2):86-90.
2. Han CG, Oh SY, Kim KC. A study on the development of separation-reduced fluidized concrete using thickener. Korea Ready Mixed Concrete Industry Association. 2001 Apr;67(4):6-16.
3. Gregori A, Ferron RP, Sun Z, Shah SP. Experimental simulation of self-consolidating concrete formwork pressure. ACI Materials Journal. 2008 May;105(1):97-104.
4. Lee HS, Lee YJ, Lee YJ, Han D. Fundamental properties analysis for thixotropic cement-based materials using pva and borax. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2020 Jun;20(3):213-21. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2020.20.3.213>
5. Ferron RP, Gregori A, Sun Z, Shah SP. Rheological method to evaluate structural buildup in self-consolidating concrete cement pastes. ACI Materials journal. 2007 May;104(3):242-250.