

Research Paper

감수제 첨가에 따른 비소성 시멘트 모르타르의 유동성 및 강도 특성

Fluidity and Strength Properties of Non-Sintered Cement Mortar according to the Addition of Superplasticizer

장경수¹ · 나형원² · 변희재³ · 형원길^{4*}

Jang, Kyung-Su¹ · Na, Hyeong-Won² · Byun, Hui-Jae³ · Hyung, Won-Gil^{4*}

¹Ph.D Course, School of Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, 38541, Korea

²CEO of HaeWon, Doctor of Engineering, 333, Daegudae-gil, Geumho-eup, Yeongcheon-si, Gyeongsangbuk-do, 38911, Korea

³Master's Course, School of Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, 38541, Korea

⁴Professor, School of Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do, 38541, Korea

*Corresponding author

Hyung, Won-Gil
Tel : 82-53-810-2597
E-mail : beda@yu.ac.kr

ABSTRACT

In this study, the fluidity and strength characteristics of NSC mortar according to the type and rate of addition of superplasticizer were analyzed to secure the fluidity of NSC composed of only slag and ash. Through the flow test, it was found that the fluidity of NSC was related to the basicity according to the binder condition, and the lower the reactivity, the higher the fluidity. When polycarboxylate is added, NSC mortar is considered to be more advantageous than plain mortar in terms of securing fluidity. As a result of the strength tests of NSC mortar containing Lignin or Polycarboxylate superplasticizer, it was found that the strength tends to increase as the basicity increases. In addition, when polycarboxylate is added, it is judged that the NSC mortar can secure adequate fluidity and strength at the same time. Through this experiment, an appropriate binder condition that satisfies the flowability while securing the strength was derived.

Keywords : non-sintered cement, basicity, superplasticizer, flow, strength

Received : August 24, 2022

Revised : September 21, 2022

Accepted : September 27, 2022

1. 서론

비소성 시멘트란 소성과정을 거치지 않은 원재료를 혼합한 시멘트로 알루미늄 실리케이트(Alumino silicate) 재료와 알칼리 반응성에 대한 연구를 바탕으로 검토되었다. 이때 사용되는 원재료는 산업공정 후 발생하는 슬래그(Slag) 및 애시(Ash)와 같은 산업부산물물을 활용할 수 있는 이점이 있어 환경 부하 저감을 목적으로 연구개발이 이루어지고 있다. 슬래그 및 애시는 고온에서 구성성분들이 용융되어 있다가 급결에 의해 결정화되지 못한 유리질로써 원활한 수화반응이 일어나지 않는다[1]. 그러나 소성 시멘트에 치환하면 수화물인 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 과 반응하여 칼슘 실리케이트 수화물(Calcium Silicate Hydrate, CSH), 알루미늄 실리케이트 겔(Alumino Silicate gel) 등을 생성함으로써 성능을 발현한다[2]. 이와 같은 혼합시멘트는 소성 시멘트의 사용량을 줄이는 것 외에도 수화열 발생을 낮추고 내해수성, 내화학적 등의 향상과 장기재령에서의 강도는 소성 시멘트를 능가하는 것으로 보고되었다[3].

슬래그 및 애시의 치환비율이 높은 시멘트는 반응지연에 의해 재령초기 강도 발현이 낮은 경향이 있다. 이와 같은 특성을 보완하기 위해 자극제를 사용하여 수화반응을 유도하는 것이 일반적이지만 적정량 이상의 자극제는 오히려 빠른 유동성 손



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.

실과 작업성 저하를 유발할 수 있다. 특히 슬래그 및 애시만으로 구성된 시멘트는 강도확보를 위해 낮은 W/B를 적용하게 되고 이는 유동성 확보에 불리하게 작용된다. 소성 시멘트의 경우에는 유동성 향상을 위해 배합 구성요소 등을 조절하는데 일반적으로 감수제의 사용을 고려한다. 이때 가장 중요한 요소는 입자의 분산성능을 최대화시키고 결합재의 재료분리 및 블리딩을 제어하는 것이다. 이로써 효과적인 작업성 및 유동성의 향상과 낮은 W/B 조건에서 적정 강도를 확보하여 성능을 개선시킬 수 있다[4].

소성 시멘트에 사용되는 일반적인 감수제는 리그닌계(Ligno-sulformate)와 나프탈렌계(Sulfonated naphthalene formaldehyde condensatesalt), 멜라민계(Sulfonated melamine form aldehyde condensate salt) 등이 있다[4]. 리그닌계는 자체 공기 연행성능이 있고 비교적 가격이 저렴하여 주로 보통 강도 영역에서 사용하고 있다. 나프탈렌계나 멜라민계는 낮은 친수성과 강한 입자 반발력을 발휘하지만 수화물 생성에 따른 반발력 저하로 결합재의 유동성은 감소될 수 있다. 최근에는 결합재의 고유동성과 고강도 확보가 가능한 폴리카르복산계 고성능 감수제(Polycarboxylate-based superplasticizer)의 사용이 증가하고 있다. 폴리카르복산계는 종래의 감수제와 비교하여 높은 감수율과 유동성 개선이 가능한 것으로 알려져 있다[4]. 그러나 이와 같은 감수제는 소성 시멘트에 적합하게 개발되어 있으므로 슬래그 및 애시만으로 구성된 비소성 시멘트 적용성과 그에 따른 기초 물성을 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 감수제의 종류 및 첨가율에 따른 비소성 시멘트 모르타르의 유동성과 강도 특성을 분석하였다. 이를 통해 비소성 시멘트 조건에서 감수제 적용성을 파악하고 효율적인 활용방안을 모색해보고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 사용 재료

2.1.1 시멘트

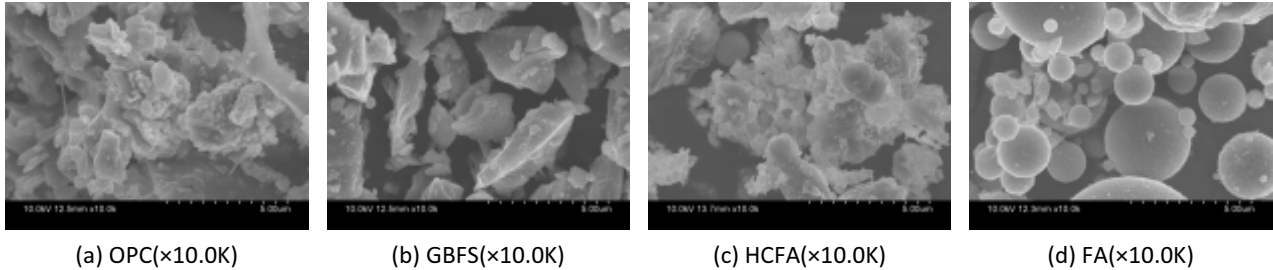
소성 시멘트는 「KS L 5201」 규정을 만족하는 1종 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement, OPC)를 사용하였으며 비소성 시멘트(Non-Sintered Cement, NSC)는 비소성 순환자원으로 구성된다. 고로슬래그 미분말(Granulated Blast Furnace Slag, GBFS)을 기반으로 고칼슘 플라이 애시(High Calcium Fly Ash, HCFA)와 플라이애시(Fly Ash, FA)를 일정한 비율 혼합하여 제조하였다. 선행연구에 따르면[5-7] 고칼슘 애시(HCFA)는 CaO 성분을 다량 함유되어 있어 물과 반응하여 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 생성함으로써 잠재수경성인 고로슬래그 미분말(GBFS)의 반응을 촉진시키는 효과가 있다. 그러나 HCFA를 단독으로 사용하는 경우 수화물에 의한 부피 팽창으로 균열을 유발할 수 있으므로 「KS L 5405 플라이애시」에서는 플라이애시(FA)와 혼합하여 사용할 것을 권장하고 있다[8].

Table 1은 본 실험에 사용한 원재료의 X-선 분석(X-Ray Fluorescence, XRF) 결과를 나타낸 것이다. GBFS의 주성분은 SiO_2 , CaO, Al_2O_3 , MgO으로 4성분의 합이 약 96%를 차지하며 알루미늄 실리케이트(Alumino silicate)의 특성을 가진다. HCFA는 CaO 함유량이 62.05%, SO_3 함유량이 27.55%로 높게 나타나 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Ettringite와 같은 수화물 생성에 유리할 것으로 판단된다. 또한 GBFS에 혼입하여 사용하는 경우, 내부에 존재하는 다량의 CaO 성분이 물과 반응하여 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 생성함으로써 GBFS의 반응성을 촉진시키는 효과가 있다[5-7]. FA는 SiO_2 와 Al_2O_3 의 함유량이 각각 66.49%, 19.21%인 알루미늄 실리케이트 성분으로 알칼리 자극에 의해 활성화가 이루어지게 된다[9].

Figure 1은 보통 포틀랜드 시멘트 및 비소성 시멘트의 재료들에 대한 입형을 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)으로 촬영한 것이다. (a) OPC, (b) GBFS, (c) HCFA는 거친 입형을 나타내는 반면 (d) FA는 구형의 입자형태를 나타내므로 결합재의 유동성 향상에 기여할 것으로 사료된다.

Table 1. Chemical composition of raw materials

Name	Chemical composition(%)				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
OPC	15.16	4.13	67.53	3.59	3.25
GBFS	31.08	13.66	46.79	2.55	3.05
HCFA	3.80	1.32	62.05	3.34	27.55
FA	66.49	19.21	3.86	1.50	0.48


Figure 1. SEM image of raw materials

2.1.2 비소성 시멘트

Table 2는 비소성 시멘트(NSC)의 배합조건을 나타낸 것이며 각 배합의 재료특성은 Table 3과 같다. NSC의 CaO 함유량은 Plain보다 낮고 SiO₂, Al₂O₃ 함유량은 높은 특성이 있다. 즉, 반응성 Ca, Si, Al 성분을 충분히 함유하고 있어 알루미늄 실리케이트 재료의 알칼리 반응성을 증진시킬 수 있을 것으로 사료된다. 또한 Table 3은 식 (1)을 통해 계산된 염기도를(Basicity)를 포함하고 있으며, 염기도는 SiO₂에 대한 CaO, MgO, Al₂O₃의 중량 백분율을 나타낸 것으로 GBFS과 같은 순환자원을 사용하는 경우 결합재의 내구성 확보에 중요하게 작용할 수 있어 파악해보았다[10].

비소성 시멘트(NSC)의 비중은 Plain보다 작고 분말도는 높은 특성을 나타낸다. 일반적으로 분말도가 클수록 원재료 특성이 충분히 발휘되는 것은 반응성은 향상되지만 결합재 내 용적증가로 수분의 이동을 감소시키므로 유동성 저하를 유발할 수 있다. 반응성 향상과 유동성 확보는 상반된 개념이지만 본 실험조건에서 이를 동시에 만족시킬 수 있는 NSC에 대한 검토를 실시하였다.

Table 2. Mixture proportions of NSC mortars

Type	Binder Weight(g)			
	OPC	GBFS	HCFA	FA
Plain	525	-	-	-
NSC1	-	420	26	79
NSC2	-	420	53	53
NSC3	-	420	79	26

Table 3. Chemical · Physical properties of binder

Factors	Plain	NSC1	NSC2	NSC3	
Basicity	4.96	1.74	1.94	2.06	
Chemical properties	SiO ₂ (%)	15.16	34.31	31.62	30.18
	Al ₂ O ₃ (%)	4.13	12.63	12.32	12.34
	CaO(%)	67.53	43.92	45.98	46.53
	MgO(%)	3.59	3.14	3.24	3.26
	SO ₃ (%)	3.25	3.52	4.43	5.42
Physical properties	Density(g/cm ³)	3.15	2.86	2.98	3.01
	Blaine(cm ² /g)	3,620	4,180	4,060	4,250

$$Basicity = \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2} \tag{1}$$

2.1.3 감수제

Table 4는 본 실험에 사용한 감수제의 특성을 나타낸 것으로 「KS F 2560」 규정을 만족하는 리그닌계 감수제(Lignin)와 폴리카르복산계 감수제(Polycarboxylic)를 사용하였다. 감수제는 주로 음이온계를 사용하고 있으며 시멘트 입자표면을 감싸는 방식으로 작용하므로 콘크리트의 응결지연현상을 유발하기도 한다[4]. 음이온계 감수제는 리그닌계와 나프탈렌계, 멜라민계 등이 있으나 본 실험에서는 리그닌계 감수제(Lignin, Li)를 사용하였다. 폴리카르복산계 감수제(Polycarboxylic, Pc)는 비이온성이며 분산제의 일종으로 재료분리 등의 문제점을 개선시켜 콘크리트의 고유동화가 가능하도록 하였다[4]. 폴리카르복산계 감수제(Pc)를 사용하는 경우 유동성 유지 효과가 큰 것은 주쇄(Main chain)보다 측쇄(Side chain)가 더 길고 많은 머리빔과 같은 모양의 분자구조 특성에 의한 것으로[11] 이를 입체 장애 효과(Steric hindrance effect)라고 한다.

Table 4. Properties of superplasticizer

Name	Li	Pc
Composition	Lignin	Polycarboxylate
Brand	Flowmix 900SA	Flowmix 3000E
Type	Liquid	Liquid
Slump(mm)	180	180
Air(%)	4.4	4.4
Water reducing ratio(%)	19	20
Difference in setting time(min.)	initial	+35
	final	+45
Compressive strength ratio(%)	7days	129
	28days	122

2.2 실험 계획

Table 5는 감수제 첨가에 따른 비소성 시멘트(Non-Sintered Cement, NSC) 모르타르의 특성을 파악하기 위한 실험계획을 나타낸 것이다. NSC 모르타르의 물-결합재비(Water Binder Ratio, W/B)는 0.4이며, 결합재(Binder)와 잔골재(Sand)의 중량비(B:S)는 1:3이다. 이는 NSC 모르타르의 Zero Flow를 기준으로 설정하였다.

Table 5. Experimental plan

Factors		Levels			
Mixture	B : S	1	• 1 : 3		
	W/B	1	• 0.4		
	NSC Binder proportion(%)	1	• GGBFS	80	
		3	• HCFA	5, 10, 15	
		3	• FA	5, 10, 15	
		4	• Li	0.3, 0.5, 0.7, 1.0	
Superplasticizer proportion(%)	4	• Pc	0.3, 0.5, 0.7, 1.0		
	Experiment	Physical Properties	3	• Flow Test(Target flow 100~150mm) • Flexural strength(7, 14, 28day) • Compressive strength(7, 14, 28day)	

감수제 첨가 비율은 4수준(0.3, 0.5, 0.7, 1.0%)이며, 목표 Flow 범위(100~150mm)를 만족하는 감수제의 종류와 첨가 비율을 도출하고자 한다. 또한 본 실험조건에서 적정 배합조건을 도출하기 위해서는 강도 특성을 함께 고려할 필요가 있다. 따라서 감수제 첨가에 따른 NSC 모르타르의 유동성을 파악하기 위해 Flow Test를 실시하였으며, 강도 특성을 파악하기 위해 휨강도 및 압축강도 시험을 실시하였다.

2.3 실험 방법

감수제를 첨가한 NSC 모르타르의 제작 방법은 다음과 같다. 원재료를 계량한 후 건비빔을 실시하고, 감수제를 첨가한 배합수를 넣고 모르타르 혼합기를 사용하여 제작하였다. 이후 강제몰드를 사용하여 공시체(40×40×160mm)를 제작하고 재령까지 항온·항습실(20±2°C, RH 80%)에서 수증 양생하였다.

감수제를 첨가한 NSC 모르타르의 Flow Test는 「KS L 5111」에 부합하는 시험용 Flow table을 이용하여 Flow(mm)를 측정하였으며, 강도 시험은 만능재료시험기(HST-50CS)를 사용하여 재령 7, 14, 28일의 휨 및 압축강도(MPa)를 측정하였다.

3. 실험 결과

3.1 Flow Test

Figure 2는 감수제 종류 및 첨가 비율에 따른 비소성 시멘트(NSC) 모르타르의 Flow Test 결과를 나타낸 것이다. 실험 결과, NSC 모르타르는 감수제 첨가비율이 높고 FA 치환 비율이 높을수록 Flow는 향상되었다. 감수제 첨가비율이 높을수록 NSC 입자의 정전기적 반발력과 입체적 분산력이 향상되는 것으로 파악되며, FA 입자형태에 따른 볼베어링(ball bearing) 효과로 Flow가 향상된 것으로 사료된다. Plain 모르타르 또한 감수제 첨가비율에 따라 Flow는 향상되는 경향이 있으나 NSC 모르타르와 비교할 때 Flow 변화가 상대적으로 작게 나타난다. 따라서 NSC 모르타르는 Plain 모르타르보다 감수제 종류와 첨가 비율에 더욱 민감한 것으로 파악된다.

NSC 모르타르는 리그닌계 감수제(Li) 첨가 비율이 0.5% 이하인 경우 Flow 개선 효과는 낮은 경향이 있다. Chang의 연구 [12]에 따르면 알루미늄 실리케이트 재료의 Li 첨가 비율이 0.5% 이하인 경우 Plain 모르타르보다 유동성이 저하되는 것은 알칼리 자극에 의해 Li 분자결합이 분해되어 반발력 및 감수능이 저하되는 것으로 판단하였다. 본 실험조건에서도 Li 첨가 비율이 0.5% 이하인 경우 Plain 모르타르보다 Flow는 대체로 낮고, 일부배합조건에서만 유사하게 나타난다. Li 첨가 비

율이 0.5%를 초과하는 경우 NSC 모르타르는 Plain 모르타르와 대체로 유사한 Flow를 나타내지만 목표 Flow를 만족하지는 못하였다.

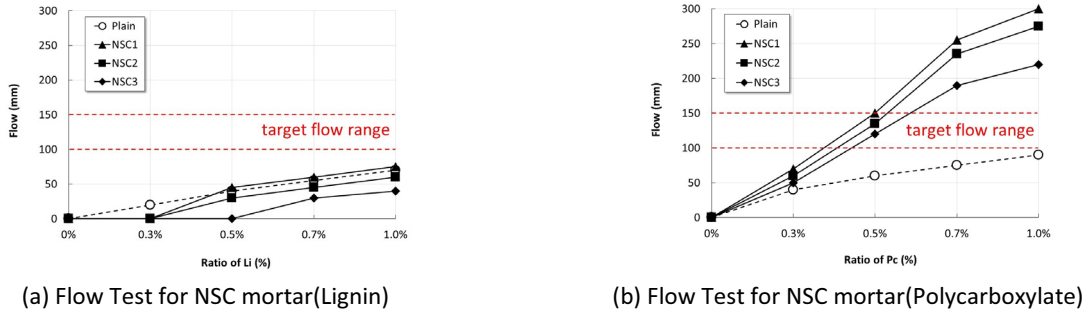


Figure 2. Flow change according to the superplasticizer composition

폴리카르본산계 감수제(Pc) 첨가 시 NSC 모르타르는 Plain 모르타르보다 유동성 확보에 유리한 것으로 파악된다. 이는 Pc가 Li보다 높은 분자량과 안정된 구조를 가지므로[12] 상대적으로 높은 유동성을 나타내는 것으로 판단된다. 또한 이와 같은 반응원리는 수화물 생성 시에도 유리하게 작용할 수 있다. 수화반응 시 생성되는 수화물은 입자간의 반발력을 감소시키는데 Pc 분자구조 특성에 따른 입체 장애 효과로 입자의 분산성능이 Li보다 오래 유지될수있기 때문이다[12]. 따라서 NSC 모르타르의 목표 Flow를 만족하는 감수제는 Pc이며, 적정 첨가 비율은 0.5%임을 확인할 수 있다.

알루미노 실리케이트 재료의 유동성 개선과 관련한 선행연구[13,14]에서는 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)에 사용되는 액상형 감수제를 사용하는 경우 감수효과가 제대로 발휘되지 못하는 것으로 보고된바 있다. 그러나 본 실험조건에서는 OPC에 사용되는 감수제를 첨가한 NSC 모르타르의 유동성은 일반적으로 개선되었고 특히 Pc 첨가 시 NSC 모르타르의 유동성은 크게 개선되는 경향을 확인하였다.

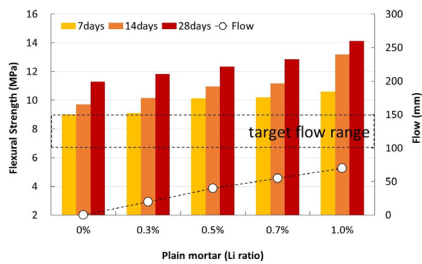
3.2 힘 및 압축강도 시험

Figure 3과 Figure 4는 리그닌계 감수제(Li), 폴리카르본산계 감수제(Pc) 첨가 비율에 따른 NSC 모르타르의 힘강도 시험 결과를 나타낸 것이다. 감수제를 첨가한 NSC 모르타르는 감수제를 첨가하지 않은 경우보다 재령 7일 힘강도가 향상되어 나타나는데 이는 NSC 입자를 효과적으로 분산시키고 반응성을 높여 힘강도가 향상된 것으로 판단된다[15]. 감수제를 첨가한 Plain 모르타르의 경우 Flow 향상에 따른 힘강도 증가 경향을 확인할 수 있으나 NSC 모르타르는 Flow 향상에 따른 힘강도 증가를 나타내지 않는다. 이와 같은 결과는 Plain과 NSC 분말도 차이에 의한 것으로 사료된다. NSC 분말도는 Plain 보다 높기 때문에 일정량 이상의 감수제 사용 시 입자의 반발력과 분산력 증대로 수화반응이 빠르게 이루어질 수 있다. 그러나 급격한 수화물 생성은 오히려 결합재 내부의 일체화를 방해하는 요인으로 작용할 수 있으므로 강도저하를 유발할 수 있다.

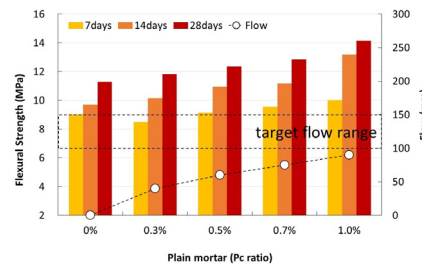
또한 Pc 0.5% 조건에서 NSC 모르타르의 힘강도는 HCFA 치환 비율이 높고, 염기도가 높을수록 증가하는 경향이 있다. 일반적으로 잠재수경성 및 포졸란 재료의 염기도가 크다는 것은 원재료 내부 용출량 증가에 따라 활성도가 높아져 반응성이 크다는 것을 의미한다. NSC1 배합의 경우 NSC2보다 분말도가 높지만 힘강도는 가장 낮게 나타난다. 이를 통해 본 실험조건에 NSC 모르타르의 힘강도 발현에는 분말도보다 배합의 염기도 영향이 더 크게 작용한 것으로 판단된다. 따라서 HCFA 치환 비율이 높고, 염기도가 높을수록 GBFS의 반응성이 증가되므로 힘강도 발현 시 유리하게 작용할 수 있다.

Figure 5와 Figure 6은 Li, Pc 첨가 비율에 따른 NSC 모르타르의 압축강도 시험 결과를 나타낸 것이다. 감수제를 첨가한 NSC 모르타르는 감수제를 첨가하지 않은 경우보다 재령 7일 압축강도가 향상되었다. 이는 감수제 첨가에 따른 NSC 입자

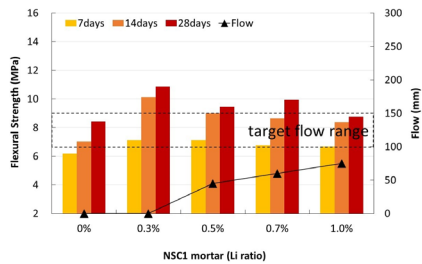
분산효과로 단위수량을 감소시킴으로써 압축강도 향상에 기여한 것으로 판단된다[15]. 그러나 NSC 모르타르는 Plain 모르타르보다 낮은 압축강도를 나타내는데 이는 원재료 특성에 따른 차이로 볼 수 있다. 본 실험에서 사용하는 원재료는 잠재수경성 및 포졸란 반응을 하는 특성이 있으므로 Plain보다 밀도가 작고 분말도는 높지만 OPC 수준으로 압축강도를 발현하지 않는 것으로 사료된다. 본 실험조건에서는 강알칼리성 또는 산성의 화학적 활성화제를 사용하지 않았으며 재령 7, 14, 28일 조건에서 파악한 강도이므로 Plain 모르타르보다 압축강도가 낮고 휨강도 발현에 유리한 측면이 있는 것으로 볼 수 있다. 일정량 이상의 감수제를 첨가한 NSC 모르타르는 오히려 압축강도가 저하되어 나타나는데 이러한 경향은 Plain 모르타르에서도 확인할 수 있다. 이는 입자의 반발력과 분산력 증대로 수화물 생성이 급격하게 진행되어 강도저하를 유발한 것으로 볼 수 있다. 또한 감수제를 첨가한 NSC 모르타르의 압축강도는 HCFA 치환 비율과 염기도가 높을수록 증가하는 경향이 있다. 감



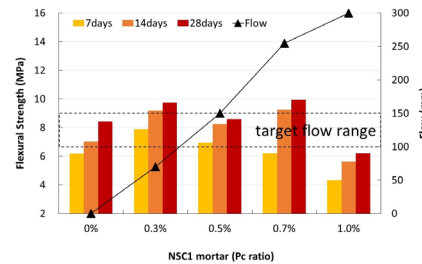
(a) Plain



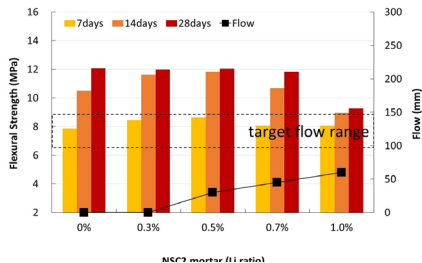
(a) Plain



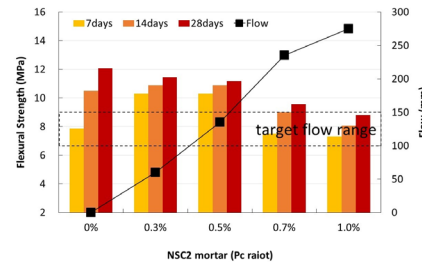
(b) NSC1



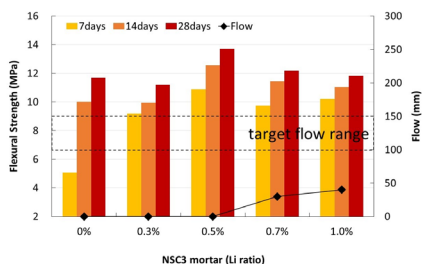
(b) NSC1



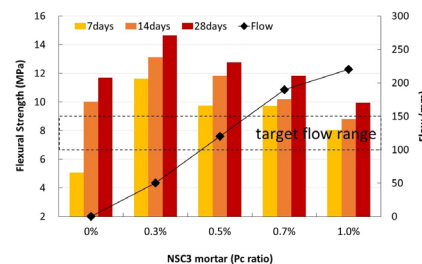
(c) NSC2



(c) NSC2



(d) NSC3



(d) NSC3

Figure 3. Flexural Strength for NSC mortar(Lignin)

Figure 4. Flexural Strength for NSC mortar(Polycarboxylate)

수제 첨가 비율이 동일한 조건에서 Li 첨가 시 압축강도가 높게 발현되는 것은 상대적으로 Flow가 낮기 때문이다. 재령 28일 유사한 압축강도(18MPa)를 나타내는 Li 0.3%의 NSC3 배합과 Pc 1.0%의 NSC3 배합의 Flow는 각각 0mm와 220mm를 나타내며, 동일한 Flow(60mm)를 나타내는 Li 1.0%의 NSC2 배합과 Pc 0.3%의 NSC2 배합의 압축강도는 각각 19MPa, 21MPa를 나타낸다. 즉 NSC 모르타르는 Li 첨가 시 압축강도 발현에 비해 Flow 개선 효과는 낮지만 Pc 첨가 시 Flow 향상과 동시에 압축강도 확보가 가능한 것으로 사료된다. 따라서 본 실험조건에서 적정 배합조건은 Pc 0.5% NSC3 배합으로 도출할 수 있다.

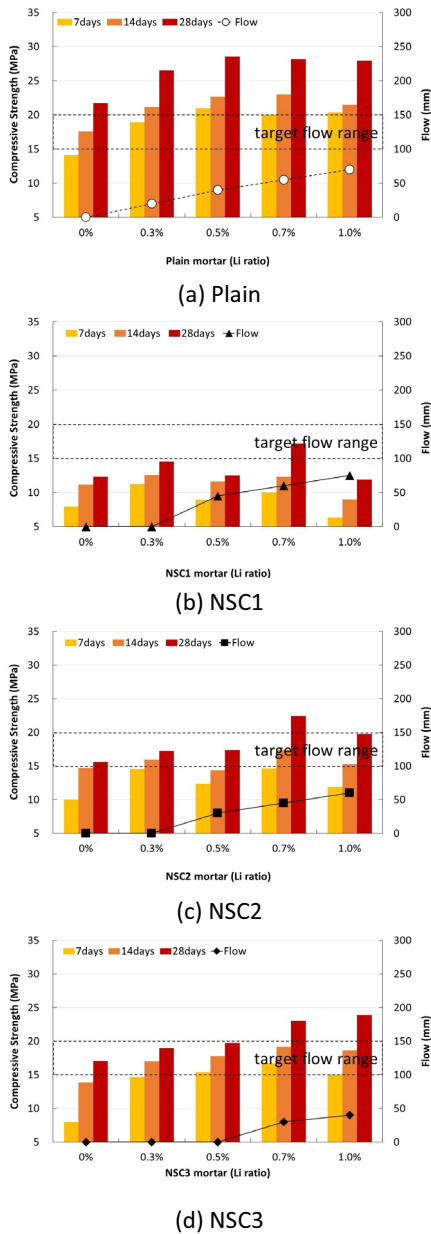


Figure 5. Compressive Strength for NSC mortar(Lignin)

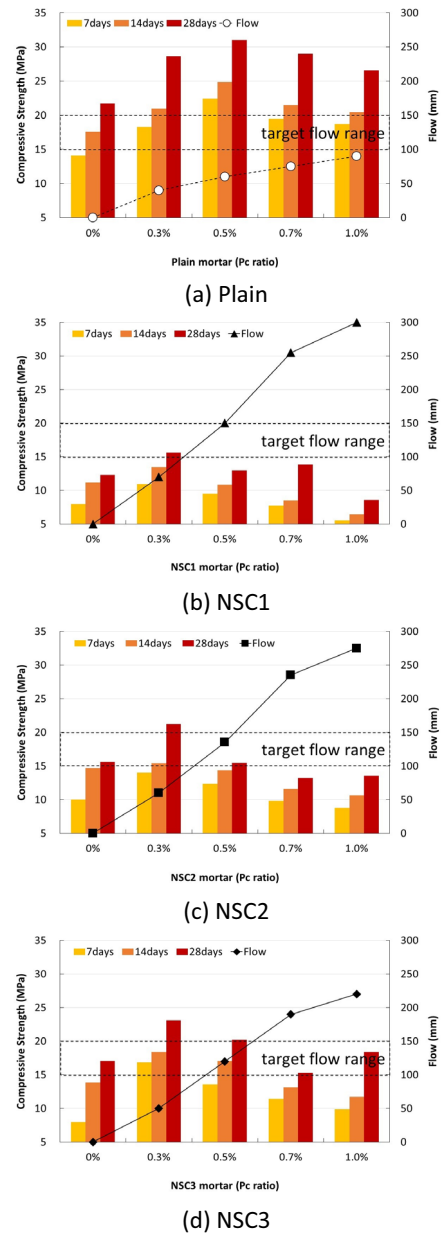


Figure 6. Compressive Strength for NSC mortar(Polycarboxylate)

4. 결론

본 연구의 범위 내에서 감수제 종류 및 첨가 비율에 따른 비소성 시멘트(NSC) 모르타르의 특성은 다음과 같다.

- 1) 감수제 첨가에 따른 비소성 시멘트(NSC) 모르타르의 Flow Test 결과, 감수제 첨가비율이 높고 플라이애시(FA) 치환 비율이 높을수록 유동성은 향상되는 것으로 나타났다. 특히 리그닌계 감수제(Li)보다 폴리카르본산계 감수제(Pc) 첨가 시 NSC 모르타르의 유동성 확보에 유리한 경향이 있으며, Pc 첨가비율이 동일한 경우 Plain 모르타르보다 높은 유동성을 확보할 수 있다.
- 2) 감수제 첨가에 따른 NSC 모르타르의 휨강도 및 압축강도 시험 결과, Pc 첨가 시 적정 유동성 확보와 동시에 강도 확보가 가능한 것으로 판단된다. 그러나 적정량 이상의 Pc 첨가는 강도저하를 유발할 수 있으므로 목표 Flow를 만족하는 범위 내에서 적정 배합조건은 Pc 0.5% NSC3으로 도출할 수 있다.
- 3) 감수제 첨가에 따른 NSC 모르타르는 고칼슘 애시(HCFA) 치환 비율이 높고 염기도가 높을수록 기반재료인 고로슬래그 미분말(GBFS)의 반응성이 증가되어 강도 성능이 향상되었다. 이러한 반응성의 촉진은 감수제 첨가에 따라 GBFS 입자의 반발력과 분산력 증대로 더욱 빠르게 일어날 수 있다. 그러나 급격한 반응 촉진은 오히려 강도저하를 유발할 수 있으므로 감수제 첨가 시 반드시 감수제의 종류와 첨가비율을 사전에 검토해야 할 것이다.

순환자원으로 구성된 비소성 시멘트(NSC)의 유동성 확보를 위해 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)에 사용되는 감수제의 적용성을 파악한 결과 리그닌계 감수제(Li) 보다 폴리카르본산계 감수제(Pc) 사용이 적당하다 판단된다. Pc 첨가 NSC 모르타르가 Plain 모르타르보다 유동성 확보에 유리한 이유는 OPC보다 분말도가 높은 특성 때문이다. OPC보다 염기도가 작고 반응성이 낮기 때문에 수화반응이 상대적으로 느린 경향이 있으나 Pc 첨가비율이 동일한 경우 Plain 모르타르보다 높은 유동성을 확보할 수 있다. 특히 휨강도 발현에 유리하다.

추후 Pc 첨가에 따른 NSC 모르타르의 내부구조 관찰 및 내구성을 확인할 필요가 있으며, 유동성 확보 조건에서 강도 향상을 목적으로 다양한 감수제의 적용 및 NSC 염기도 조절 등의 실험이 보완되어야 할 것으로 판단된다.

요약


본 연구에서는 순환자원으로 구성된 비소성 시멘트의 유동성 확보를 위해 감수제의 종류 및 첨가율에 따른 비소성 시멘트 모르타르의 유동성과 강도 특성을 분석하였다. 감수제 첨가에 따른 비소성 시멘트의 유동성은 감수제 첨가비율이 높고 플라이애시 치환 비율이 높을수록 유동성은 향상되는 것으로 나타났다. 특히 폴리카르본산계 감수제 첨가 시 소성 시멘트 모르타르보다 유동성 확보에 유리하며, 비소성 시멘트 모르타르의 적정 유동성 확보와 동시에 강도 확보가 가능한 것으로 판단된다. 또한 감수제 첨가에 따른 비소성 시멘트 모르타르는 고칼슘 애시의 치환 비율이 높고 염기도가 높을수록 반응성이 촉진되는 경향이 있는데 급격한 반응 촉진은 오히려 강도저하를 유발할 수 있으므로 목표한 유동성을 만족하는 범위 내에서 적정 배합조건을 도출하였다.


키워드 : 비소성 시멘트, 염기도, 감수제, 유동성, 강도


Funding


This work supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(No. 2020R1F1A1048414).

ORCID

Kyung-Su Jang,  <http://orcid.org/0000-0003-2292-2981>

Hyeong-Won Na,  <http://orcid.org/0000-0001-6367-5038>

Hui-Jae Byun,  <http://orcid.org/0000-0001-5747-8556>

Won-Gil Hyung,  <http://orcid.org/0000-0003-2639-8929>

References

1. Song JK, Yang KH, Song KI. Importance and Characteristics of Geopolymer Concrete Technology. Magazine of RCR. 2017 Mar;12(2):8-15. <https://doi.org/10.14190/MRCR.2017.12.1.008>
2. Choi SW. Engineering properties of low carbon high strength concrete with ground granulated blast-furnace slag-based blended cement [doctoral thesis]. [Daejeon (Korea)]: Chungnam National University. 2015. p. 10-11.
3. Roy DM. Alkali-activated cements opportunities and challenges. Cement and Concrete Research. 1999 Feb;29(2):249-54. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(98\)00093-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00093-3)
4. Kong TW. Development of normal strength-high fluidity concrete using all-in-one polycarboxylate-based superplasticizer with viscosity modifying agent [doctoral thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University. 2022. p. 1-8.
5. Hwang HJ, Kim HS, Jeon JY, Ryu DH, Park SJ, Park HC. The experimental study on the fundamental properties of high-calcium fly ash based non-cement inorganic binder. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2011 Nov 9-11; Pyeongchang, Korea. Seoul (Korea): Journal of The Korea Concrete Institute; 2011. p. 329-30.
6. Lee HY, Moon KJ, Song H, Bae SC, Hyung WG. A study on the chemical resistance of non-sintered cement mortar. Construction and Environment Research Institute. 2011 Dec;6(2):19-26.
7. Kang SP. A study on the effect of high-calcium fly ash on the compressive strength of the portland blast-furnace slag cement concrete. Journal of the Construction and Environment Research Institute. 2012 Oct;7(1):22-30.
8. Cho SW, Na HW, Hyung WG. Properties of cement mortar according to mixing of circulating fluidized bed fly ash and pulverized coal fly ash based on blast furnace slag. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2021 Apr; 21(2):141-8. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2021.21.2.141>
9. Kim JH. A study on the effects of crystalline change of fa-bfs system geopolymer ceramics to thermal properties [doctoral thesis]. [Chun Cheon (Korea)]: Kangwon National University. 2017. 18 p.
10. Lee SH. Consideration of cautions regarding the use of admixtures and admixtures in cement and concrete. Korea Cement Association Cement Symposium; 2011 July 7-8; Chungju, Korea. Seoul (Korea): Korea Cement Association; 2011. p. 38-46.
11. Li Y, Yang C, Zhang Y, Zheng J, Guo H, Lu M. Study on dispersion, adsorption and flow retaining behaviors of cement mortars with TPEG-type polyether kind polycarboxylate superplasticizers. Construction and Building Materials. 2014 Aug;64(14):324-32. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.050>
12. Chang JH. Characterization of water reducing agents affecting material properties of alkaline activated mortar. [doctoral thesis]. [Cheongju (Korea)]: Cheongju University. 2015. p. 57-97.
13. Koh KT, Ryu GS, Lee JH, Kang HJ, Jeon YS. Flowability and compressive strength of cementless alkali-activated mortar using blast furnace slag. Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute. 2011 Mar;6(1):63-71.
14. Smith MA. Slag/fly ash cement. World Cement Technology. 1977 Nov;8(6):223-33.
15. Choi JJ. Kinds and properties of superplasticizer. Magazine of the Korea Concrete Institute. 2001 May;13(3):32-7. <https://doi.org/10.22636/MKCI.2001.13.3.32>