

초기 재령에서 비소성 황토 혼입 고강도 콘크리트의 압축강도 발현 예측을 위한 초음파 속도법 검토

UPV Prediction Method on Compressive Strength of High Strength Concrete Mixed with Non-Sintered Hwangto at Early Age

남영진¹ · 김원창² · 최형길³ · 김규용⁴ · 이태규^{5*}

Young-Jin Nam¹ · Won-Chang Kim² · Hyeong-Gil Choi³ · Gyu-Yong Kim⁴ · Tae-Gyu Lee^{5*}

(Received March 16, 2023 / Revised May 8, 2023 / Accepted May 15, 2023)

In this study, the mechanical properties of high-strength concrete according to the substitution rate of NSH(Non-sintered Hwangto) as an alternative material for cement were measured and evaluated. Through UPV(Ultrasonic pulse velocity) analysis, the compressive strength prediction equation was proposed, and the substitution rate of NSH was set at 15 % and 30 %. The evaluation items were compressive strength and UPV, and the curing period was set to 24 hours. In compressive strength and UPV, as the NSH substitution rate increased, lower strength and lower UPV were shown. In addition, the correlation number(R^2) between compressive strength and UPV was 0.99 for NC(Normal Concrete), 0.97 for NSHC(Non-sintered Hwangto Concrete)33-15, and 0.94 for NSHC33-30.

키워드 : 고강도 콘크리트, 비소성 황토, 초음파 속도, 초기 재령, 강도 예측

Keywords : High-strength concrete, Non-sintered Hwangto, UPV, Early age, Prediction of strength

1. 서론

최근 건축물의 고층화에 따라 고강도 콘크리트의 활용이 증대되고 있으며, 이는 시멘트의 사용량을 증가시켜 많은 CO₂ 배출량의 증가에 대한 우려가 현실화 되고 있다.

시멘트 소성과정 중 많은 양의 CO₂가 배출되며(Olivier 2022), 시멘트의 사용을 저감하기 위해 건설업계에서는 다양한 연구를 수행하고 있다(Lee 2010). 이에 따라 시멘트 대체 재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 중 친환경 재료인 황토의 경우 기존 혼화재료와 유사한 성분을 가지고 있어 다량 사용을 위한 연구가 일부 진행되었다(Choi et al. 2000; Lee et al. 2010).

황토는 제품 생산 시 에너지 소비가 거의 없고 지표면의 약 10 % 차지하고 있어 재료 취득에 용이하다는 장점이 있으나 시멘트를

100 % 사용한 콘크리트 대비 혼합 비율이 높을수록 낮은 강도 발현의 경향을 보이는 것으로 확인되고 있다(Choi et al. 2000; Lee 2010; Heo et al. 2014). 이러한 현상은 황토가 물과 반응 했을 때 입자간의 응집현상이 약 6 %의 체적감소 현상이 일어나 균열이 증가되어 강도발현이 저하되는 원인에 의한 결과로 보고되고 있다(Kang et al. 2008).

이러한 콘크리트의 낮은 강도 발현은 건설 생산성에 있어서 초기 시공 단계에 매우 큰 영향을 줄 수 있다. 특히, 시공 안전성 측면에서 콘크리트의 강도 발현 평가는 매우 중요하며, 강도 발현 평가가 잘못 이루어질 경우 거푸집 붕괴 등의 재해로 이어질 수 있다(Kim et al. 2018). 황토를 혼합할 경우 일반적인 콘크리트 대비 낮은 강도 발현을 보이기 때문에 보다 정량적이고 정확한 평가가 필요하다고 판단된다.

* Corresponding author E-mail: ltg777@semyung.ac.kr

¹세명대학교 소방방재공학과 석사과정 (Department of Fire and Disaster Prevention, Semyung University, Jecheon, 27136, Korea)

²세명대학교 소방방재공학과 박사과정 (Department of Fire and Disaster Prevention, Semyung University, Jecheon, 27136, Korea)

³경북대학교 건축공학과 교수 (School of Architecture, Civil Environment and Energy Engineering, Kyungpook University, Daegu, 41566, Korea)

⁴충남대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Chungnam University, Yuseong-Gu, Daejeon, 34134, Korea)

⁵세명대학교 소방방재학과 교수 (Department of Fire and Disaster Prevention, Semyung University, Jecheon, 27136, Korea)

기존 연구자들은 다양한 방법을 통해 초기 재령에서의 콘크리트 강도 발현 평가를 위한 연구를 수행하였으며, 그 중 UPV(Ultrasonic pulse velocity)를 활용한 방법을 제안하였다(Pyznsiak 1968; Shariq et al. 2013; Lee and Lee 2020; Kim et al. 2022). 그러나 UPV의 경우 재료의 물리적인 특성에 따라 다른 경향이 나타나기 때문에 기존의 제안된 초기 재령에서의 강도 예측 모델을 황토를 혼합한 콘크리트에 적용할 경우 다소 상이한 결과가 나타날 수 있다(Trtnik et al. 2009). 이로 인해 초기 재령에서 황토를 혼합한 콘크리트의 정확한 강도 평가를 위해서는 황토의 치환율에 따른 다수의 데이터를 바탕으로 UPV와의 관계성을 검토할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 초기 재령에서 UPV 분석을 통해 황토를 시멘트 대체 재료로서 활용한 고강도 콘크리트의 강도 발현 평가에 대한 연구를 수행하였다. 황토의 경우 탄소 중립 정책의 취지에 맞게 자연에서 추출된 황토를 토양 미생물 및 오염물 등의 제거 공정 작업을 거친 황토로서 소성 과정을 거치지 않은 NSH(Non-sintered Hwangto)를 사용하였으며(Lee et al. 2019), C사에서 제조하는 황토를 제공받았다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

Table 1에 본 연구의 실험 계획을 나타냈다. 시험체는 콘크리트 로 설정하였으며 NSH의 경우 0 %, 15 %, 30 %로 설정하였다. 시험체의 양생 기간은 24시간으로 설정하였으며, 측정 항목은 압축강도와 UPV로 설정하였다.

Table 1. Experimental plan

Contents	Detail
Concrete	<ul style="list-style-type: none"> • NC (Normal Concrete) • NSHC (Non-sintered Hwangto Concrete)
Ratio of replacement	0 %, 15 %, 30 %
Curing	24 hours
Mechanical properties	<ul style="list-style-type: none"> • Compressive strength (MPa) • Ultrasonic pulse velocity (km/s)

2.2 실험 재료

Table 2에 본 연구에 사용된 실험 재료의 물리적 특성을 나타냈다. 시멘트는 밀도가 3.15 g/cm³, 분말도가 3,200 cm²/g이다. NSH는 밀도 2.50 g/cm³, 분말도는 3,300 cm²/g이다.

Table 3에서는 OPC(Ordinary portland cement) 및 NSH의 화학적 특성을 나타냈다.

Table 2. Physical properties of materials

Properties	Cement ¹⁾	NSH ²⁾	Coarse aggregate	Fine aggregate	Admixture
Density (g/cm ³)	3.15	2.50	2.68	2.54	Polycarboxylic-based acid
Fineness (cm ² /g)	3,200	3,300	-	-	
Fineness modulus	-	-	7.03	2.54	
Absorption (%)	-	-	0.68	1.6	
Maximum size (mm)	-	-	20	-	

1) Cement : Ordinary portland cement

2) NSH : Non-sintered Hwangto

Table 3. Chemical properties

Chemical composition (%)	OPC	NSH
CaO	60.34	0.93
SiO ₂	19.82	40.0
Al ₂ O ₃	4.85	32.9
Fe ₂ O ₃	3.30	7.79
MgO	3.83	1.54
SO ₃	2.88	-
K ₂ O	1.08	0.76
Others	0.86	16.62
L.O.I	3.02	13.7

2.3 실험 배합

Table 4에 콘크리트의 배합표를 나타냈다. NSH를 혼합하지 않은 NC(Normal Concrete) 및 NSH를 혼합한 NSHC(Non-sintered Hwangto Concrete)로 분류를 했으며, 모르타르의 경우 콘크리트와 동일한 시험조건에서 실험을 진행하기 위해 콘크리트를 체로 걸러 굵은 골재만 제거한 후 몰드에 양생을 하였다. NSH의 치환 비율은 15 %와 30 %로 설정하였다. W/B는 33 %로 설정하였으며, 콘크리트의 작업성을 높이기 위해 폴리카르본산계 고성능 감수제를 혼합하였다.

Table 4. Mix proportions of the mortar and concrete

Specimen	MIX ID	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				
				W	C	NSH	S	G
Concrete	NC33	33.0	43.0	165	500	-	711	961
	NSHC33-15			165	425	75	705	953
	NSHC33-30			165	350	750	699	944

2.4 실험 방법

Table 5에 실험 방법을 나타냈다. 시험체의 평가는 초기 응결시간을 고려하여 압축강도는 6시간에서 24시간까지 120분에 1회 측정을 하였다. UPV는 6시간에서 12시간까지는 30분에 1회 측정하였으며, 12시간에서 24시간까지는 60분에 1회씩 측정하였다. 모르타르의 경우는 UPV만 측정했으며, 실험 방법은 콘크리트와 동일하게 진행했다.

압축강도는 KS F 2405, UPV는 KS F 2731에 따라 측정하였다. Fig. 10에 측정 모식도를 나타냈으며, UPV를 측정할 때 시험체와 탐촉자 간의 밀실한 접촉을 위해 ‘Vacuum grease’를 사용하여 실험을 진행했다.

Table 5. Experimental plan

Materials	Mechanical properties	Measurement time	
		6 - 12 hours	12 - 24 hours
Concrete (OPC, NSH)	Compressive strength (MPa)	120 min.	120 min.
	Ultrasonic pulse velocity (km/s)	30 min.	60 min.
Mortar (OPC, NSH)	Ultrasonic pulse velocity (km/s)	30 min.	60 min.

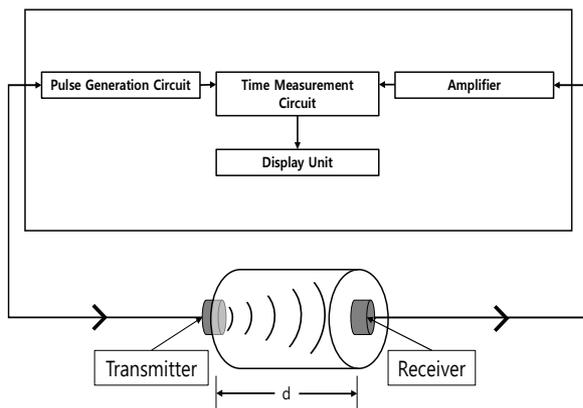


Fig. 1. UPV measurement schematic diagram

3. 실험 결과

3.1 초기 재령에서의 NC와 NSHC의 압축강도

Fig. 2에 NC와 NSHC의 초기 재령에서의 압축강도를 나타냈다. 압축강도의 평가는 3개의 시험체의 압축강도를 측정 후 계산하여 평균치로 나타냈다.

NC 및 NSHC의 압축강도는 10시간까지 유사하게 발현되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 12시간부터 NSHC33-30은 NC33에 비해 34 % 낮은 강도인 3.5 MPa를 나타냈다. NC33과 NSHC33-15는 16시간까지 각각 10.8 MPa, 10.5 MPa로 유사하게 발현되었으나, 20시간부터 NC33은 14.4 MPa, NSHC33-15는 12.3 MPa를 나타내면서 격차가 커지는 것으로 확인되었다.

수직 거푸집을 탈형 할 수 있는 최소 압축강도인 5 MPa를 도달한 시간은 NC와 NSHC33-15는 12시간(0.5일)에서 5.3 MPa와 5.1 MPa, NSHC33-30은 16시간(0.67일)에서 6.0 MPa를 나타냈다. 재령 24시간 이내에 시험체 모두 5.0 MPa를 발현하였으며, 시멘트 대체 재료로서 NSH의 치환율이 증가할수록 압축 강도의 발현이 늦어진다는 것을 알 수 있다. 이것은 NSH가 시멘트 초기 수화반응 중 수화생성물 사이에 생긴 공극을 채워주는 filler 효과가 더 큰 것으로 보인다(Xu and Van Deventer 2002). 따라서 거푸집 탈형을 시멘트 100 %로 사용한 NC와 NSHC와 동일한 시점에서 평가를 진행한다면 정확한 강도 발현시기 예측이 어렵다고 판단된다.

3.2 초기 재령에서의 모르타르와 콘크리트 UPV

3.2.1 초기 재령에서의 모르타르 UPV

Fig. 3에 NM(Normal Mortar)와 NSHM(Non-sintered Hwangto Mortar)의 UPV를 나타낸 것이다. 초기 UPV에서 NM33과 NSHM33-30은 유사한 속도를 나타냈으며, NSHM33-15는 NM33 대비 30 % 낮은 속도인 0.60 km/s로 가장 낮게 나타났다. 그러나 양생 시간이 경과하면서 NM33과 NSHM33-15는 유사해지며 수렴한다. 초기에 높은 UPV를 나타낸 NSHM33-30은 24시간이 됐을

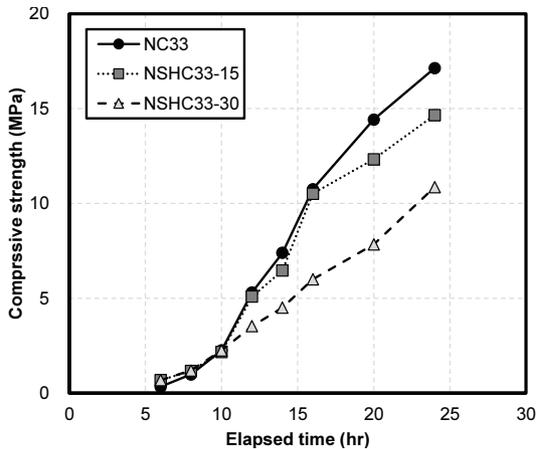


Fig. 2. Compressive strength of NC and NSHC

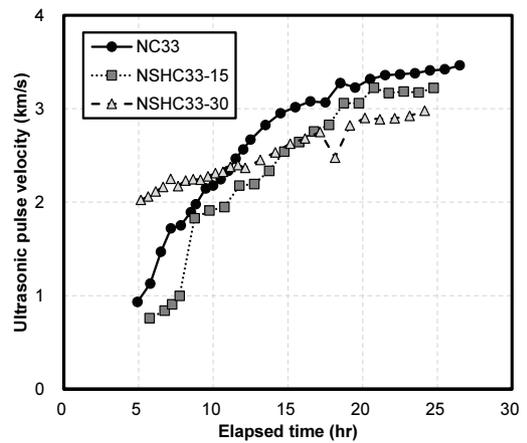


Fig. 4. UPV of NC and NSHC

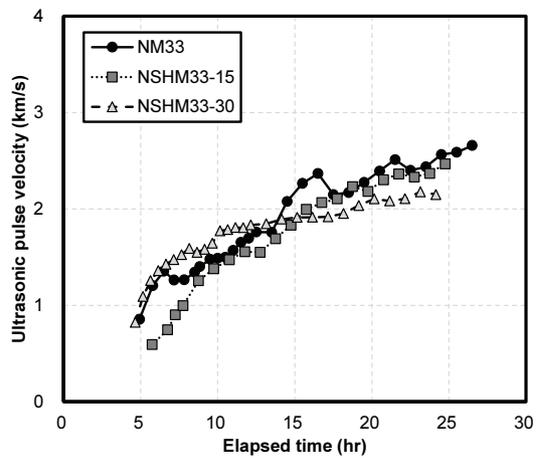


Fig. 3. UPV of NM and NSHM

때 초기와 큰 차이 없이 낮은 기울기를 나타냈으며, NM33 대비 12 % 낮은 2.22 km/s를 나타냈다. NSHM33-30의 경향은 시멘트 수화반응 중 수화생성물 사이 공극을 NSH가 채워 밀도가 높아져 초기에 빠른 UPV가 발현됐다고 판단된다(Fan et al. 2014; Kim and Kim 2016).

3.2.2 초기 재령에서의 콘크리트 UPV

Fig. 4에서는 NC와 NSHC의 UPV를 나타냈다. 초기에서 NSHC33-30은 NC33과 NSHC33-15 대비 두 배 이상의 차이를 내는 높은 UPV를 나타냈다. 시간이 경과하면서 NC33과 NSHC33-15는 기울기가 유사하게 나타났다. 그러나 NSHC33-30은 두 시험체의 기울기와 다르게 수렴하는 경향을 보였으며, NC33 대비 14 % 낮은 UPV를 보여주고 있다. NSH 치환율이 가장 높은

NSHC33-30이 속도가 초기에 가장 빠르게 나타나는 것은 골재의 분포 등의 요인에 따른 오차로 판단된다. 콘크리트와 모르타르의 UPV 그래프 양상이 유사하게 나타나는 경향이 있다.

3.2.3 모르타르와 콘크리트의 UPV 비교

Fig. 5에 시간 경과에 따른 모르타르와 콘크리트의 UPV 값을 비교한 그래프를 나타냈다. 모르타르는 0.6~2.66 km/s의 UPV 범위를 나타냈으며, 콘크리트는 0.76~3.46 km/s의 UPV 범위를 나타냈다. 모르타르는 콘크리트 대비 32 % 낮았으며, 시간이 경과함에 따라 모르타르와 콘크리트의 UPV는 모두 증가하는 것을 보였다. 위 그래프에서 모르타르가 콘크리트보다 낮은 속도로 확인되었다. 이러한 경향은 콘크리트는 모르타르와 달리 굵은 골재가 포함되기 때문이라 판단된다(Ben-Zeitun 1986).

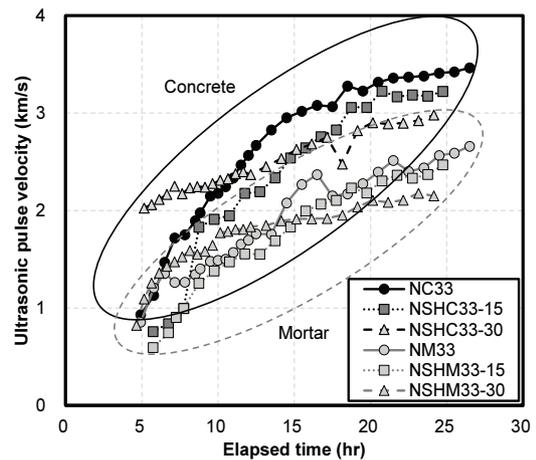


Fig. 5. Comparison of UPV of mortar and concrete

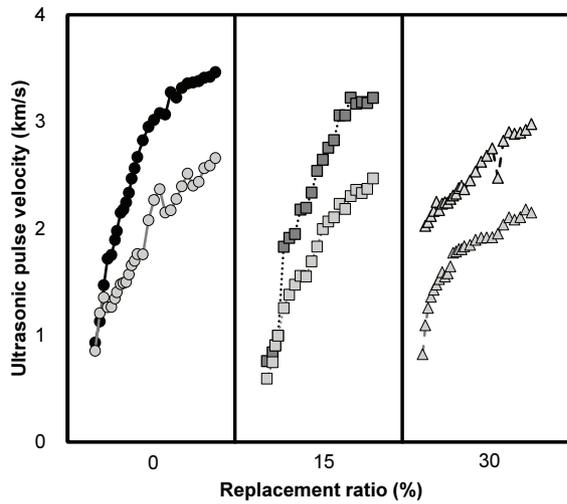


Fig. 6. Comparison by replacement rate

Fig. 6에 본 연구의 모르타르와 콘크리트의 UPV를 NSH 치환율 별로 나타냈다. NSHC33-30은 다른 시험체들과 다르게 UPV 측정 초기에 1.21 km/s로 큰 차이를 보여주고 있으며, 위 그래프에서 콘크리트 시험체 중 가장 빠른 UPV는 NC33으로 3.46 km/s이고 가장 느린 속도는 NSHC33-30으로 2.15 km/s이다. NSH의 치환율이 높아질수록 UPV는 낮아지는 양상을 확인할 수 있으며, NSHC33-15의 경우 NC33과 유사한 경향이 나타났다. 이에 따라 NSH의 치환율 15%는 30%보다 안정적으로 초음파 속도를 통해 강도를 예측할 수 있을 거라 판단된다.

3.3 압축강도와 UPV의 상관관계

Fig. 7에 NSH로 치환된 콘크리트의 초기 재령에서의 압축강도와 UPV의 상관관계를 나타냈다. 그래프를 나타낸 것과 같이 압축강도와 UPV의 관계를 지수함수로 나타냈다. NC33과 NSHC33-15는 거푸집 탈형 시점인 5 MPa를 초과하는 시간이 12시간으로 동일했으며 각각의 UPV는 2.57 km/s와 2.18 km/s를 나타냈다. 그리고 NSHC33-30은 16시간에서 5 MPa를 초과하였으며 2.68 km/s의 UPV를 나타냈다. W/B 33%에서는 상관계수(R^2)가 0.95와 근접하거나 높은 상관관계를 나타냈으며, 이에 따라 고강도 부분에서의 NC와 NSHC의 초기 재령에서의 압축강도를 UPV로 예측이 가능하다고 판단된다.

Table 6에 선행 연구자들(Demirboğa et al. 2004; Turkmen et al. 2010; Le et al. 2018)은 기존 시멘트 혼화재료의 압축강도와 UPV의 상관관계에 대해 연구를 요약하여 나타냈다. Fig. 8에서는 선행 연구에서 제안된 예측모델과 본 연구에서 NC33과

NSHC33-15, NSHC33-30의 예측 모델 식 (1)과 (2), (3)를 그래프로 나타냈다.

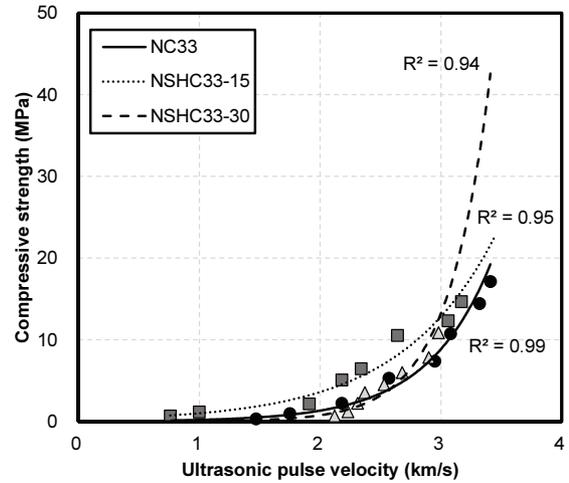


Fig. 7. Correlation between compressive strength and UPV

Table 6. Prediction model of compressive strength of existing concrete mixed materials

Researcher	Replacement ratio	Predictive model
Le et al	BFS 0-60 %	$F_c=1.82 \times e^{(0.7 \times V_p)}$
Turkmen et al	BFS 0-30 %	$F_c=0.0301 \times e^{(1.7 \times V_p)}$
Demirboğa et al	FA 0-70 %	$F_c=0.0142 \times e^{(1.8 \times V_p)}$
	BFS 50-70 %	$F_c=0.0049 \times e^{(2.1 \times V_p)}$
	FA+BFS 5-35 %	$F_c=0.0018 \times e^{(2.3 \times V_p)}$

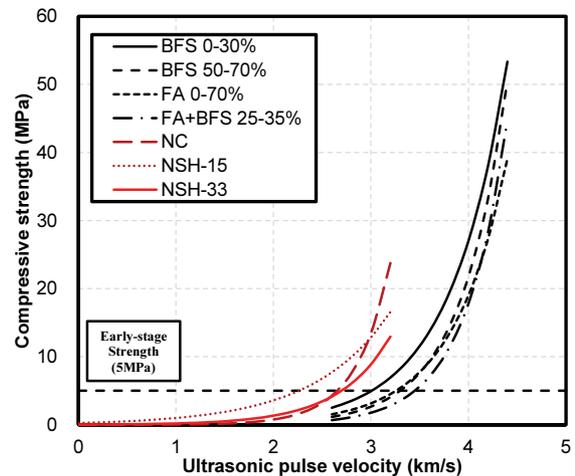


Fig. 8. Comparison with existing prediction models

$$F_c=0.0304 \times e^{(1.8923 \times V_p)} \quad (1)$$

$$F_c = 0.2837 \times e^{(1.2710 \times V_p)} \quad (2)$$

$$F_c = 0.0026 \times e^{(2.8501 \times V_p)} \quad (3)$$

선행연구의 예측식과 본 실험의 NC를 초음파 속도 2.8 km/s에 서 비교했을 때 BFS(Blast furnace slag)의 치환율 0~30 %인 예 측 모델은 약 2.2배 낮은 압축강도를 나타냈으며, BFS의 치환율이 50~70 %인 예측 모델은 약 4.3배 낮은 압축강도를 나타냈다. FA(Fly ash)의 치환율 0~70 %인 예측식과 FA+BFS의 치환율 25 ~35 %인 예측식 또한 NC보다 낮은 압축강도를 나타냈다. 본 실험을 통해 제시된 예측식과 기존 시멘트 혼화재료의 예측식이 서 로 상이한 결과가 그래프에 나타났으며, 이것은 콘크리트에 사용 한 굵은 골재 종류의 차이 때문에 서로 다른 상관관계가 나타났 다고 판단된다(Cho et al. 2000). 역학적 특성과 초음파 속도는 재료 적 요인과 환경적 요인에 의해 많이 상이해진다. 따라서 수직 거푸 집 탈형 시기를 정확하게 측정하기 위해서 초기 재령에서의 연구 가 NSH의 치환율 뿐만 아니라 골재, 양생 온도 등의 다양한 조건에 대해 이루어져야 한다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 W/B 33 %인 NSH 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도 및 UPV 평가 시험 후 상관관계를 통해 다음과 같은 결론 을 얻었다.

1. 초기 재령에서의 압축강도는 10시간까지 유사하게 발현되었으 나 12시간부터 NSHC33-30이 NC33에 비해 34 % 낮게 발현 됐다.
2. 시간 경과에 따라 모르타르와 콘크리트의 UPV가 높아지는 것 을 알 수 있으며, 모르타르가 콘크리트 대비 32 % 낮게 나타났 다. 이것은 굵은 골재의 유무가 큰 영향을 준 것으로 판단된다.
3. 수직 거푸집 탈형 강도인 5 MPa를 초과하는 시점에서의 시간 과 UPV는 NC33인 경우 12시간에서 2.57 km/s, NSHC33-15는 12시간에서 2.18 km/s, NSHC3-30은 16시간에서 2.68 km/s를 나타냈다.
4. NC와 NSHC33-15, NSHC33-30의 상관계수는 0.99, 0.95, 0.94로 높은 상관관계를 나타냈으며, UPV를 통해 초기 재령에 서 콘크리트의 압축강도를 검토하는 것은 충분한 신뢰성이 있 는 것으로 확인된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

This work was supported by the Technology development Program(S3270705) funded by the Ministry of SMEs and Startups(MSS, Korea).

References

- Ben-Zeitun, A.E. (1986). Use of pulse velocity to predict compressive strength of concrete, *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, **8(1)**, 51-59.
- Cho, Y.H., Min, W., Eum, J.Y. (2000). The property of compressive strength, tensile strength and flexural strength by various coarse aggregate, *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, **4**, 273-276 [in Korean].
- Choi, H.Y., Hwang, H.Z., Kim, M.H., Kim, M.H. (2000). A study on the development of Hwangtoh admixture for the application of cement mortar, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, **16(6)**, 95-102 [in Korean].
- Choi, S.W., Choi, H.Y., Hwang, H.Z., Kim, M.H., Kim, M.H. (2000). An experimental study on the basic properties of concrete with Hwangtoh admixture, *Proceeding of Architectural Institute of Korea*, **20(2)**, 419-422 [in Korean].
- Demirboğa, R., Türkmen, İ., Karakoc, M.B. (2004). Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixed concrete, *Cement and Concrete Research*, **34(12)**, 2329-2336.
- Fan, Y., Zhang, S., Kawashima, S., Shah, S.P. (2014). Influence of kaolinite clay on the chloride diffusion property of cement-based materials, *Cement and Concrete Composites*, **45**, 117-124.
- Heo, J.O., Lee, J.K., Hyung, W.G. (2014). Properties of non-sintered Hwangtoh mortar using eco-friendly inorganic binding material, *Journal of the Korea concrete Institute*, **26(4)**, 499-506 [in Korean].
- Kang, S.S., Lee, S.L., Hwang, H.Z., Cho, M.C. (2008). Hydration heat and shrinkage of concrete using Hwangtoh binder, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **20(5)**, 549-555 [in Korean].
- Kim, I.K., Seo, S.H., Kang, C.Y. (2000). General properties and ferric

- oxide content of Hwangtoh(yellow ochre), Journal of Pharmaceutical Investigation, **30(3)**, 219–222 [in Korean].
- Kim, K.N., Park, S.Y., Moon, K.T., Shim, J.Y. (2018). Characteristics of compressive strength of concrete due to form curing condition, KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research, **38(1)**, 19–28 [in Korean].
- Kim, T.W., Kim, I.G. (2016). The strength characteristics of activated multi-component cement with kaolinite, Journal of the Korea Concrete Institute, **28(5)**, 593–600.
- Kim, W.C, Jeong, K.S, Choi, H.G, Lee, T.G. (2022). Correlation analysis of ultrasonic pulse velocity and mechanical properties of normal aggregate and lightweight aggregate concretes in 30–60 MPa range, Materials, **15(8)**, 2952.
- Le, D.H., Sheen, Y.N., Lam, M.N.T. (2018). Fresh and hardened properties of self-compacting concrete with sugarcane bagasse ash-slag blended cement, Construction and Building Materials, **185**, 138–147.
- Lee, C.Y., Kim, J.H., Hyung, W.G. (2019). Acid resistance and component analysis of non-sintered cement mortar according to replacement of non-activated Hwangto, Journal of Korea Society of Waste Management, **36(2)**, 171–176 [in Korean].
- Lee, G.H. (2010). Estimation and comparison of regional environmental Kuznets curves for CO2 emissions in Korea, Journal of Environmental Policy, **9(4)**, 53–76 [in Korean].
- Lee, N.K., Hwang, H.Z., Park, H.G. (2010). Flexural performance of activated Hwangtoh concrete beam, Journal of the Korea Concrete Institute, **22(4)**, 567–574 [in Korean].
- Lee, T.G., Lee, J.H. (2020). Setting time and compressive strength prediction model of concrete by nondestructive ultrasonic pulse velocity testing at early age, Construction and Building Materials, **252**, 119027.
- Lee, S.S. (2010). A study on the fluidity properties and strength properties of non-sintered Hwangtoh mixed with PVA fiber, Journal of the Korea Institute of Building Construction, **10(3)**, 49–56 [in Korean].
- Olivier, J. (2022). Trend in Global CO and Total Greenhouse Gas Emissions – 2021 Summary Report, Netherlands Environmental Assessment Agency, Netherlands.
- Pysznik, J. (1968). Method of concrete strength control, in prefabricated slabs, by ultrasound, Building Science, **2(4)**, 331–335.
- Shariq, M., Prasad, J., Masood, A. (2013). Studies in ultrasonic pulse velocity of concrete containing GGBFS, Construction and Building Materials, **40**, 944–950.
- Trtnik, G., Kavčič, F., Turk, G. (2009). Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks, Ultrasonics, **49(1)**, 53–60.
- Türkmen, I., Öz, A., Aydın, A.C. (2010). Characteristics of workability, strength, and ultrasonic pulse velocity of SCC containing zeolite and slag, Scientific Research and Essays, **5(15)**, 2055–2064.
- Xu, H., Van Deventer, J.S. (2002). Microstructural characterisation of geopolymers synthesised from kaolinite/stilbite mixtures using XRD, MAS-NMR, SEM/EDX, TEM/EDX, and HREM, Cement and Concrete Research, **32(11)**, 1705–1716.

초기 재령에서 비소성 황토 혼입 고강도 콘크리트의 압축강도 발현 예측을 위한 초음파 속도법 검토

본 연구에서는 초기 재령에서 NSH(Non-sintered Hwangto) 치환율에 따른 고강도 콘크리트의 역학적 특성을 평가하였다. NSH의 치환율은 15 % 및 30 %로 설정했다. 평가 항목은 압축강도와 UPV(Ultrasonic pulse velocity)로 설정하였으며, 최종적으로 UPV분석을 통해 압축강도 예측 방정식을 제안하였다. 압축강도와 UPV에서는 NSH 치환율이 증가할수록 낮은 강도 및 UPV를 보였다. 또한 압축강도와 UPV의 상관관계 분석 결과, 상관계수(R2)는 NC33(Normal concrete)은 0.99, NSHC(Non-sintered Hwangto Concrete)33-15는 0.97, 그리고 NSHC33-30은 0.94로 높은 상관관계를 나타냈다.