

Research Paper

세티메타를 이용한 초지연 모르타르의 응결시간 추정

Estimation of Setting Time of Super Retarding Mortar Using Settimer

정영진¹ · 현승용^{2*} · 한준희¹ · 김 종³ · 한민철⁴

Jeong, Yeong-Jin¹ · Hyun, Seung-Yong^{2*} · Han, Jun-Hui¹ · Kim, Jong³ · Han, Min-Cheol⁴

¹Doctor's Course, Dept. of Architectural Engineering, Cheong-ju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea

²Post-Doctoral Researcher, Construction Certification Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi-Do, 10223, Korea

³Assistant Professor, Dept. of Architectural Engineering, Cheong-ju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea

⁴Professor, Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea

*Corresponding author

Hyun, Seung-Yong
Tel : 82-43-229-8480
E-mail : yc0933@naver.com

ABSTRACT

This study investigates the delay in setting characteristics of mortar influenced by variations in super retarding agent(SRA) content, curing temperature, and strength levels. Utilizing a settimeter, the research introduces an objective approach to accurately determine the setting time of concrete with SRA under diverse environmental and material mixing conditions at construction sites. The findings indicate that the settimeter, in conjunction with a nonlinear regression model, can effectively estimate the setting time of super retarding mortar. Optimal management of the initial setting is recommended at approximately 45ST and the final setting around 80ST. This methodology enables more effective quality control in the setting times of super retarding concrete.

Keywords : setting time, super retarding agent, settimeter, estimation

Received : October 5, 2023

Revised : November 1, 2023

Accepted : November 4, 2023

1. 서론

최근 우리나라의 콘크리트는 건축물의 고층화 및 대형화에 따라 그에 맞는 고성능을 요구하고 있다. 특히, 공기단축 및 비용절감을 목적으로 응결시간 및 강도 발현 시기 등 시멘트의 응결 및 수화를 자유롭게 조절할 수 있는 기술이 필요하다. 이와 관련하여 응결시간을 수시간에서 수일까지 조절할 수 있는 초지연제가 개발되어 다양한 방향으로 사용되고 있다 [1-3].

한편, 콘크리트의 응결시간 측정은 KS 규정에 의한 Proctor 관입저항 시험 방법이 사용되고 있는데, 이는 콘크리트를 5mm체를 사용하여 습식 체가름하고 모르타르만을 추출하여 시험을 실시하는 것으로 표준화된 측정 방법이다. 하지만, 실무 현장조건에서는 사용에 제약이 따르는데, ASTM C403/C403M-16에서 제안한 Penetration meter의 경우도 초결(500psi)은 측정할 수 있으나[4], 실무에서 필요한 종결은 측정할 수 없으므로, 현장적용에 한계가 있다. 이에 Han[5-7] 등은 고무의 경도를 측정하는 고무경도계(Durometer)를 이용하여 콘크리트의 응결시간 추정 방법에 관한 연구를 진행한 바 있으며, 기존 고무경도계에 측정침을 개량하고, 굳지않는 콘크리트의 응결을 측정할 수 있는 세티메타(Settimeter, Setting time meter)를 개발한 바 있다[8].

기존 연구에서는 세티메타를 이용한 응결시간 추정 방법의 범위가 일반 콘크리트로 한정되어 있으며, 초지연제를 사용한



배합에 대하여는 검토한 바가 없는데, 초지연제를 콘크리트에 혼입한 경우에는 응결성상이 일반 콘크리트와 다르기 때문에 세티메타를 이용한 초지연 콘크리트의 응결시간추정이 유효한 방법인지 검증할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 모르타르 조건에서 초지연제 혼입률, 양생온도 및 강도수준 변화에 따른 응결지연 특성을 고찰하고, 세티메타를 이용한 초지연 모르타르의 응결시간 추정 가능성을 확인하고 최종적으로 콘크리트 공사현장의 다양한 외기 조건 및 재료배합 조건하에서 초지연제를 사용한 콘크리트의 응결시간을 효율적으로 추정할 수 있는 객관적 방법을 제시하고자 한다.

2. 세티메타(Settimeter)에 대한 고찰

2.1 고무경도계(Durometer)를 이용한 응결시간 추정

고무경도계를 이용한 콘크리트의 응결시간 추정은 Figure 1과 같이 고무경도계 C type을 이용하여 콘크리트의 초결시간, D type을 이용하여 종결시간을 각각 추정할 수 있는 것으로 확인되었다[5-7]. 하지만, 2개의 기기를 사용해야 하고, 기기 사용시 시멘트 페이스트가 측정침과 기기와의 틈을 통해 기기 내로 유입되어 기기 고장의 원인이 되는 문제점이 발견한 바 있다. 따라서, 고무경도계의 한계점을 해결하면서 전용성 및 편의성을 향상시킨 세티메타를 개발하였다.

2.2 세티메타(Settimeter)의 개요 및 측정법

위에서 언급한 바와 같이 세티메타는 상기 문제점을 해결하기 위해 고무경도계 C type의 측정침을 반구형에서 원기둥 모양으로 개량하여, 시멘트 페이스트의 유입 문제를 방지시키고, 측정위치의 균일 면적이 가려지도록 하는 setting time meter의 약어로 세티메타로 개발되었다. Figure 2는 세티메타의 사진과 개량한 침의 단면도인데, 세티메타는 콘크리트의 초결 및 종결을 하나의 기기로 추정할 수 있다[8]. 측정방법은 먼저 KS F 2436과 동일한 방법으로 시험체를 준비 및 배치하고 모르타르 표면에 세티메타를 접촉시킨 후 적당한 힘을 가해 원판이 표면에 닿을 때까지 눌러준 뒤 측정 수치를 기록하는데, 총 5번 측정 후 그 평균값을 1회 측정값으로 한다.

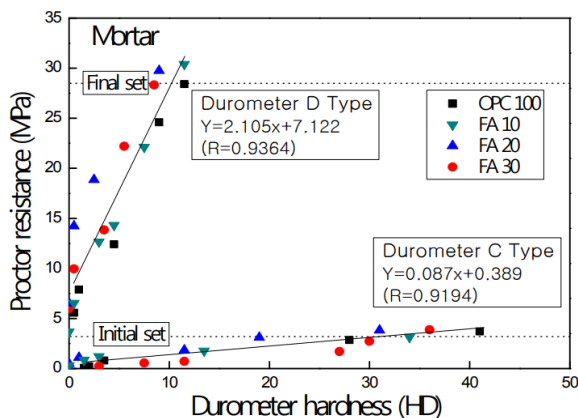


Figure 1. Preliminary research for durometer application

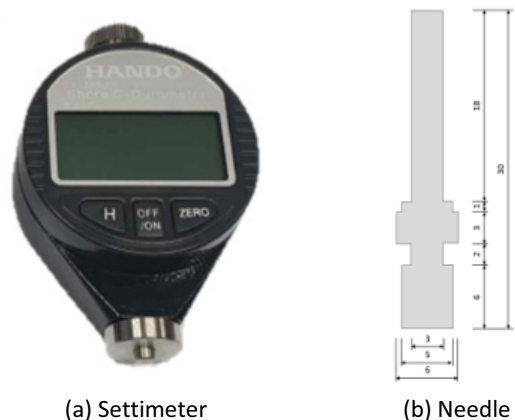


Figure 2. The settimeter instrument

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다. 먼저, 모르타르 배합비 1:3 및 결합재 조성비는 현장에서 일반적으로 사용하는 3성 분계를 사용하였는데, 경제성 및 실용성을 고려하여 OPC:FA:BS=50:15:35으로 설정하였다. 물결합재비는 여러 강도 수준에 대하여 검토하기 위해 45, 55, 65, 75 % 4수준으로 변화시켰으며, 목표 공기량 4.5±1.5 % 범위를 만족하도록 배합설계하였다. 초지연제 혼입률은 선행연구[9]의 결과를 토대로 응결지연성을 고려하여 0.5 %까지 한계를 두고 0%에서 0.5 %까지 0.1% 단위로 증가시켜 총 6수준에 대하여 검토하였다. 양생온도는 우리나라의 기후조건을 바탕으로 한중, 한랭, 표준, 서중 환경[10-12]을 고려하고자 5, 10, 20, 35°C 4수준으로 계획하였다. 모르타르의 기초물성으로 플로, 공기량을 측정하였으며, 응결시간은 KS 규격에 의거한 관입저항기를 이용하여 측정함과 동시에 개발품인 세티메타(Settometer)를 이용하였다. 특히, 응결시간 측정시 응결 측정용 공시체를 상기에서 설정한 온도가 유지되는 챔버에서 각각의 봉함양생을 실시하되 소정의 시간마다 관입저항기 및 세티메타를 이용하여 동일시간 및 동일시료에 대하여 측정하였다.

Table 1. Outline of the experimental plan

Factors		Items						
Mixture	Binder:Sand	1:3						
	Binder(%)	OPC : FA : BS = 50 : 15 : 35						
	Water/Binder(%)	4	45	55	65	75		
	Air contents(%)	1	4.5 ± 1.5					
	Super retarding agent contents(%)	6	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Curing temperature(°C)		4	5	10	20	35		
Experimental	Fresh mortar	2	Flow, Air contents					
	Setting time	2	Penetration resistance tester, Settimer					

3.2 사용재료

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내 A사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 2와 같다. 플라이애시, 고로슬래그 미분말 및 잔골재는 국내 S사의 제품을 사용하였으며, 플라이애시는 2종을 사용하였고, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다. 고로슬래그 미분말은 2종을 사용하였으며, 그 물리·화학적 성질은 Table 4와 같다. 잔골재는 석산 부순 잔골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 5와 같다. AE제는 국내 D사의 제품을 사용하였으며, 초지연제는 물:백설탕=1:1비율로 혼합한 백설탕액과 증점제:물=4:996로 혼합한 PEO증점제 및 AE제를 2:1:0.05 비율로 혼합하여 사용하였는데, 원재료 각각의 물리적 성질은 Table 6과 같다.

Table 2. Physical properties of cement

Density(g/cm ³)	Blaine(cm ² /g)	Soundness(%)	Setting time(min.)		Compressive strength(MPa)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3 390	0.05	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 3. Physical properties of fly ash

Density(g/cm ³)	Blaine(cm ² /g)	L.O.I(%)	SiO ₂ (%)	Moisture contents(%)
2.27	3 919	2.8	67.2	0.09

Table 4. Properties of blast furnace slag powder

Density(g/cm ³)	Blaine(cm ² /g)	L.O.I(%)	Chemical composition(%)				
			CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃
2.95	4 012	2.5	34.2	14.6	0.32	42.3	6.40

Table 5. Physical properties of crushed sand

Density(g/cm ³)	Water absorption rate(%)	Passing ratio of 0.08mm sieve(%)	Fineness modulus
2.59	1.92	2.5	2.96

Table 6. Physical properties of super retarding agent

Agent	Density(g/cm ³)	Basis	Appearance
White sugar	1.60	Sucrose	White, solid
Viscosity modifying agent	1.00	Poly ethylene oxide	White, grain
AE agent	1.04	Sodium lauryl sulfate	Yellow, aqueous

3.3 실험방법

모르타르의 혼합은 KS L 5109에 준하여 진행하였으며, 플로는 KS L 5111, 공기량은 KS L 3136에 의거하여 실시하였다. 특히, 응결시간은 KS F 2436에 의거하여 실시하였는데, 임의의 온도(5, 10, 20, 35°C)가 유지되는 양생 챔버 내에 응결 측정용 시료를 PE 필름으로 덮어 보관하는데, 소정의 시간마다 관입저항치를 측정하였다.

세티메타의 경우에는 Proctor 관입저항기로 측정하는 시간마다 동일한 시료에 대하여 측정하되, 모르타르의 표면과 기기의 침이 수직이 되도록 하게 한 뒤 연직으로 하중을 가하여 기기의 디스플레이에 표시된 값을 기록하였으며, 총 5번 측정 후 그 평균값을 1회 측정치로 하였다. 또한, 다음 Figure 3은 시험기 및 측정 모습을 나타낸 것이다.



(a) Penetration resistance tester



(b) Settimer

Figure 3. Measurement of setting time

4. 실험결과 및 분석

4.1 모르타르의 기초 특성

Figure 4는 물결합재별 초지연제 혼입률 변화에 따른 플로 및 공기량을 나타낸 것이다. 플로의 경우 전반적으로 물결합재 비 증가에 따라 유동성이 증가하는 것으로 나타났으며, 각 W/B별 초지연제의 혼입률 증가에 따라 유동성이 미미하게 증가하거나 유지되는 경향으로 나타났다. 이는 초지연제 제조시 혼입되는 공기량 조절용 AE제와 증점제에 의한 유동성 조절 작용에 기인한 것으로 판단된다.

공기량은 초지연제의 혼입률 변화에 따라 다소 증감하는 것으로 나타났으나, 모든 배합에서 목표 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

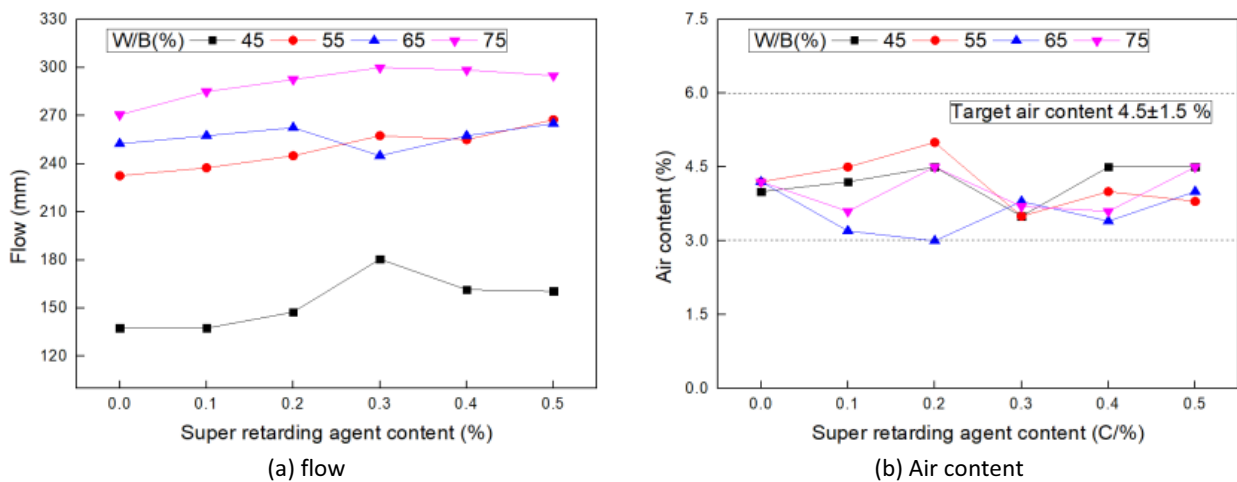


Figure 4. Flow and air content with different super retarding agent(SRA) levels

4.2 모르타르의 응결시간 측정

4.2.1 모르타르 관입저항기를 이용한 응결시간 측정

Figure 5는 물결합재비 및 양생온도별 초지연제 혼입률 변화에 따른 모르타르 관입저항치를 나타낸 것이다. 전반적으로 물결합재비 증가, 양생온도 감소 및 초지연제 혼입률 증가에 따라 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다. 이는 물결합재비 증가에 따른 단위수량 증가 및 시멘트량 감소에 따라 응결시간이 지연되었으며, 양생온도가 낮아질수록 응결시간이 지연되는 것으로 나타났는데, 이는 시멘트의 수화작용은 화학적인 반응으로써 온도 의존성이 크기 때문에 양생온도가 감소할수록 수화속도도 감소하여 응결시간이 지연된 것으로 판단된다. 초지연제 혼입률 증가에 따른 응결시간은 지연되는 것으로 나타났는데, 물결합재비 75 %, 양생온도 5°C, 초지연제 혼입률 0.5 %인 배합이 112.4시간(종결)으로 가장 많이 지연되는 것으로 나타났다. 물결합재비 45 %, 양생온도 35°C, 초지연제 혼입률 0%인 배합이 5.8시간(종결)으로 가장 많이 촉진되는 것으로 나타났다[13-17].

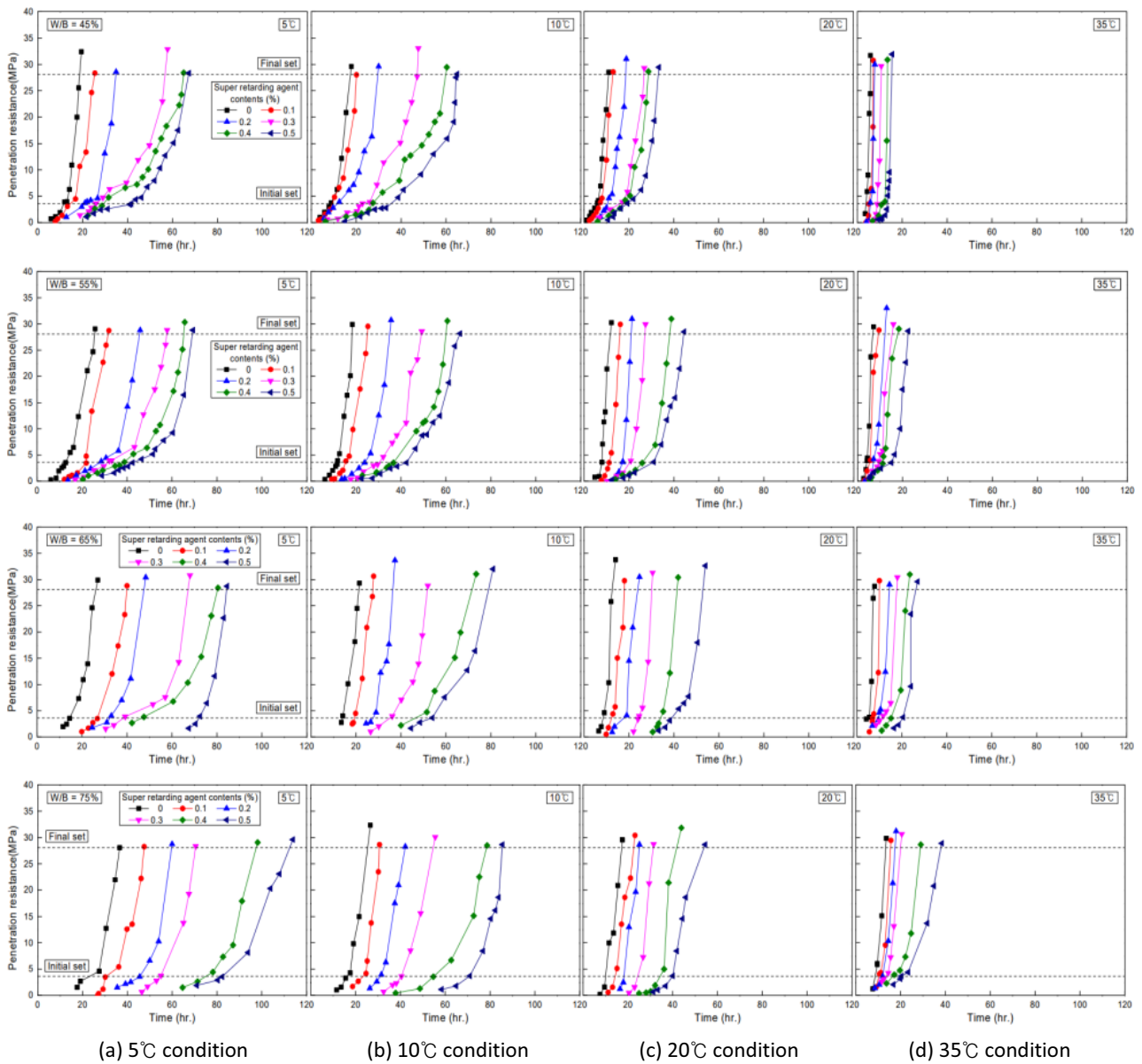


Figure 5. Penetration resistance relative to SPA amounts

4.2.2 세티메타를 이용한 표면 경도값 측정

Figure 6은 물결합재비 및 양생온도별 초지연제 혼입률 변화에 따른 세티메타의 측정치를 나타낸 것이다. 전반적으로 시간 경과에 따라 측정치가 증가하는 것으로 나타났으며, 물결합재비 증가, 양생온도 감소 및 초지연제 혼입률 증가에 따라 측정치가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 모르타르 관입저항기의 경우인 Figure 5와 유사한 경향으로 보이나, 시간 경과에 따른 측정치의 증가가 모르타르 관입저항치와 다소 상이한 것으로 나타났다. 모르타르 관입저항치의 경우에는 초기에 시간 경과에 따라 크게 증가하지 않다가 이후 급격히 증가하는 것으로 나타났는데, 세티메타의 측정치는 초기에 측정치가 급격히 증가하다가 이후 완만하게 증가하는 것으로 나타났다.

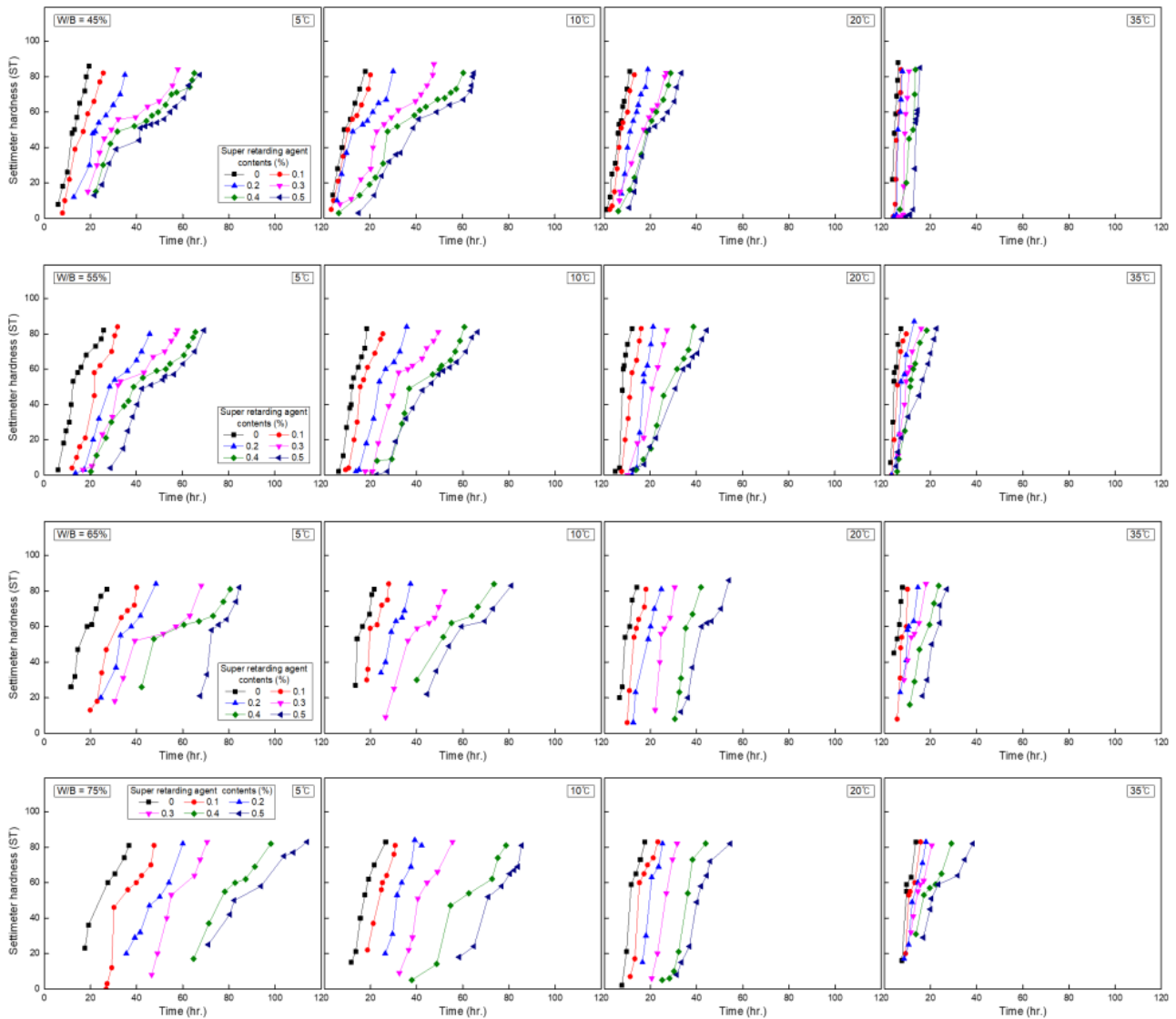


Figure 6. Settimer hardness depending on super retarding agent content

4.3 세티메타를 이용한 응결시간 추정

4.3.1 초결 및 종결 시점에서의 세티메타 경도치

Figure 7은 모르타르 관입저항기를 이용하여 측정된 초결 및 종결시점에서의 세티메타 측정치를 나타낸 것이다. 초지연제를 혼합하지 않은 배합인 Plain의 경우에는 초결 45 ST, 종결 81 ST로 나타났으며, 초결의 최대값은 47 ST, 최소값은 40 ST, 표준편차는 2 ST로 나타났고, 종결의 최대값은 83 ST, 최소값은 79 ST, 표준편차는 1 ST로 나타났다. 초지연제를 혼합한 배합의 경우에는 초결 46 ST, 종결 81 ST로 나타났는데, 초결의 최대값은 50 ST, 최소값은 38 ST, 표준편차는 2 ST로 나타났고, 종결의 최대값은 84 ST, 최소값은 78 ST, 표준편차는 1 ST로 나타났다. Plain에 비해 초지연제를 혼합한 배합의 경우에는 경도치의 범위가 비교적 큰 것으로 나타났으나, 평균값 및 표준편차는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

종합적으로 물결합재비, 양생온도 및 초지연제 혼입률의 변화와 상관없이 초결 및 종결시점에서 비슷한 측정치를 나타내는 것을 확인하였다. 초결의 경우 45 ST 전후, 종결에서는 80 ST 전후의 값으로 나타났다.

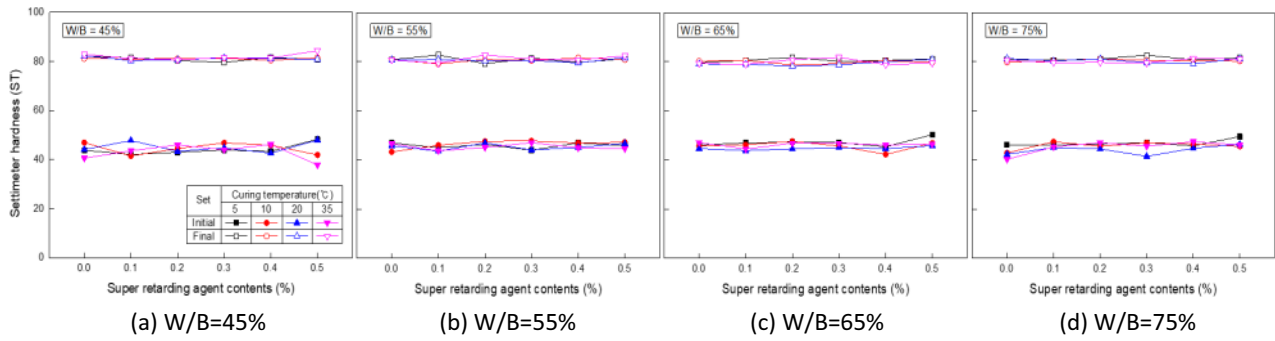


Figure 7. Settimer hardness at initial and final setting times with different SRA levels

4.3.2 세티메타의 경도치와 모르타르 관입저항치와의 관계

Figure 8은 본 연구에서 측정한 Proctor 관입저항치와 세티메타의 측정치를 각각 상호 비교한 것이다. 먼저, 전체 801개의 데이터를 사용하여, 산점도와 같이 그래프에 표현하였다. x축에 세티메타 측정치, y축에 Proctor 관입저항치를 도시하여 비선형 회귀모델을 도출하고 그 상관성을 확인하였다. 지수함수형태의 관계식이 결정계수가 0.96 이상으로 높은 상관성을 나타내었다. 세티메타는 초지연제의 혼입유무, 혼입률 및 양생온도에 따라 응결시간의 차이가 크에도 불구하고 초결 및 종결 시점에서의 경도치가 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

따라서, 초지연 모르타르의 응결시간 추정에 세티메타 경도값을 적절히 적용할 경우, 매우 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

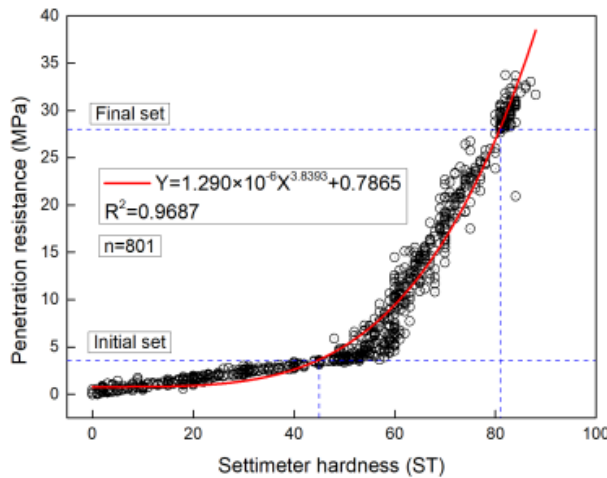


Figure 8. Correlation between proctor resistance and settimer hardness

5. 결론

본 논문은 콘크리트 실무현장에서 다양한 외기조건, 재료배합 조건 및 초지연제 사용량에 따른 세티메타(Settimer) 응결시간을 객관적으로 추정하기 위한 방법을 제시하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 모르타르 관입저항기를 이용하여 측정한 경우 물결합재비 증가, 양생온도 감소 및 초지연제 혼입률 증가에 따라 응결 시간이 지연되는 것으로 나타났다.

2) 세티메타(Settimer)의 경우 모르타르의 관입저항시험과 동일한 시간 및 동일한 시료에 대하여 측정하였으며, 물결합 재비, 양생온도 및 초지연제 혼입률과 상관없이 초결의 경우에는 45 ST 전후, 종결의 경우에는 80 ST 전후로 나타났다.

3) 모르타르 관입저항치와 세티메타 측정치를 상호 비교함과 동시에 상관관계를 분석한 결과 결정계수가 0.96 이상의 높은 상관성을 확인하였고, 상관관계식을 적절히 활용할 경우 응결시간 추정에 유용하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

이상을 종합하면, 본 연구에서 도출한 비선형 회귀모델의 추정식 및 세티메타를 이용하여 초지연 모르타르의 응결시간을 추정할 수 있을 것으로 사료되며, 초결은 45 ST, 종결은 80 ST 전후로 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한, 이를 통해 초지연 콘크리트의 응결시관과 관련한 효율적인 품질관리가 가능할 것으로 사료된다.

요약


본 연구에서는 모르타르 조건하에서 초지연제 혼입률, 양생온도 및 강도수준 변화에 따른 응결지연 특성을 고찰하고자 하였으며, 세티메타를 이용하여 공사현장의 다양한 외기조건 및 재료배합 조건하에서 초지연제를 사용한 콘크리트의 응결시간을 효율적으로 추정할 수 있는 객관적 방법을 제시하고자 하였다. 그 결과, 비선형 회귀모델의 추정식 및 세티메타를 이용하여 초지연 모르타르의 응결시간을 추정할 수 있을 것으로 사료되며, 초결은 45 ST, 종결은 80 ST 전후로 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 또한, 이를 통해 초지연 콘크리트의 응결시관과 관련한 효율적인 품질관리가 가능할 것으로 사료된다.


키워드 : 응결시간, 초지연제, 세티메타, 추정


Funding

This paper was conducted with the support of the National Research Foundation of Korea's Individual Basic Research Program(Mid-Career Research)(Project Number: NRF-2021R1A2C2011273) in 2021.


ORCID

Yeong-Jin Jeong,  <https://orcid.org/0009-0005-2067-6037>

Seung-Yong Hyun,  <https://orcid.org/0000-0002-2615-3625>

Jun-Hui Han,  <https://orcid.org/0000-0002-4655-3001>

Jong Kim,  <https://orcid.org/0000-0001-9802-3726>

Min-Cheol Han,  <https://orcid.org/0000-0002-2555-673X>

References

1. Han CG, Han MC, Yoon CH, Sim BK. Setting and mechanical properties of concrete using saccharic type super retarding agent. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2002 Aug;14(4):589-96. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2002.14.4.589>
2. Han CG, Han MC, Yoon CH, Sim BK. Setting and compressive strength properties of cement mortar using super retarding agent. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2001 Oct;17(10):87-94
3. Jeon, CK, Kim J, Shin DA, Yoon GW, Oh SG, Han CG. Field Application of Setting Time Difference Method Using SRA for

- Reduction of Hydration Heat of Mass Concrete. Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference; 2005 May 21; Seoul, Korea. Seoul (Korea): the Korean Institute of Building Construction; 2005. p. 21-4.
4. ASTM C403/C403M-16. Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance. PA: American Society for Testing and Materials; 2023. 7 p.
 5. Han MC, Shin YS, Han ID. Estimation of the setting time of the high flowing concrete using durometer. Journal of the architectural institute of korea structure. 2019 Sept; 35(9):143-50. https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2019.35.9.143
 6. Han MC, Han ID, Shin YS. Estimation of setting time of concrete using rubber hardness meter. Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute. 2019 Dec;7(4):358-66. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2019.7.4.358>
 7. Han MC, Lee HJ. Setting time evaluation of high flowable ternary concrete mix using durometer. Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute. 2020 Mar;8(1):33-8. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2020.8.1.33>
 8. Han CG, Han MC, Shin YS. Feasibility study of modified durometer to evaluate setting time of the concrete. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2020 Oct;20(5):433-40. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2020.20.5.433>
 9. Yoon CH. Study on the effective application of concrete using super retarding admixture [dissertation]. [Cheongju (Korea)]: University of Cheongju; 2003. 162 p.
 10. KCS 14 20 40. Cold weather concrete. Goyang (Korea): Korea Construction Standards Center; 2022. 8 p.
 11. KCS 14 20 10. Normal concrete. goyang (Korea):Korea Construction Standards Center; 2022. 65 p.
 12. KCS 14 20 41. Hot weather concrete. Goyang (Korea):Korea Construction Standards Center; 2021. 4 p.
 13. ASTM D2240-15. Standard test method for rubber property-durometer hardness. PA: American Society for Testing and Materials; 2021. 15 p. <https://doi.org/10.1520/D2240-15R21>.
 14. Han MC, Han CG. Prediction of setting time of concrete using super retarding agent with maturity method. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction. 2005 May;21(5):105-12.
 15. Han MC. Prediction of setting time of concrete using fly ash and super retarding agent. Journal of the Korea Concrete Institute. 2006 Dec;18(6):759-67. <https://doi.org/10.4334/jkci.2006.18.6.759>
 16. Schindler AK. Effect of temperature on hydration of cementitious materials. Materials Journal. 2004 Jan;101(1):72-81. <https://doi.org/10.14359/12990>
 17. Juenger MCG, Jennings HM. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes. Cement and Concrete Research. 2002 Mar;32(3):393-9. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00689-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00689-5)