

## 듀로미터를 이용한 3성분계 고유동 콘크리트의 응결시간 추정

# Setting Time Evaluation of High Flowable Ternary Concrete Mix Using Durometer

한민철<sup>1</sup> · 이혁주<sup>2\*</sup>

Min-Cheol Han<sup>1</sup> · Hyuk-Ju Lee<sup>2\*</sup>

(Received December 2, 2019 / Revised January 28, 2020 / Accepted January 29, 2020)

The aim of the research is to evaluate the feasibility of durometer for assessing setting time of the concrete by comparing it with the currently used proctor penetration test method to improve the surface finishing timing determining method generally determined based on the experience of the worker. As a research result, the correlation between suggesting method using durometer with currently used proctor penetration test method was high enough. Hence, on the surface of the concrete, the initial setting time and the final setting time could be designated as 41 HD with C-type, and 11 HD with D-type, respectively. Therefore, the durometer can be used as a portable setting time evaluation device with the easiness of handling and measuring for determining concrete surface finishing timing quantitatively.

키워드 : 듀로미터, 응결시간, 3성분계, 프록터 관입저항 시험기

**Keywords :** Durometer, Setting time, SCMs, Proctor penetration resistance tester

## 1. 서론

콘크리트 공사에서 타설완료 후 표면을 평탄하게 하는 표면 마감 작업은 필수적으로 실시해야만 하는 중요한 공정이다. 그런데, 이러한 표면 마감작업은 응결시간과 관련이 있는데 즉, 초결과 종결 사이인 소성체 상태에서 진행이 되어야만 한다(KCI 2010).

그러나, 표면 마감작업을 초결 전에 실시하게 되면 타설된 콘크리트는 아직 액체 상태로 마감작업 장비인 피니셔의 무게를 견디지 못하여 표면에 흔적을 남기게 되고, 마감작업 후 침하균열 및 기포가 상승하는 등의 문제가 발생할 수도 있으며, 또한 종결 이후의 늦은 시간에 실시하게 되면 고체상태로 표면마감 작업에 어려움이 있어 가수 후 작업을 실시하게 되는데, 이렇게 되면 콘크리트 표면의 물시멘트비가 증가함에 따라 콘크리트 표면의 강도가 저하하는 문제가 발생할 수 있다(Han 2008).

따라서 표면 마감작업 시점은 실무 현장에서는 매우 중요시 고려되고 있지만, 정량적 수치로 관리되지 못하고 숙련된 작업자의

경험과 감각에 의존되고 있는 것이 현실이다.

반면, 응결시간을 측정할 수 있는 장비로는 프록터 관입저항시험기가 있다. 그러나 이 시험기는 무게가 무겁고 측정침의 길이가 길어 굵은골재를 습식 체가름한 모르타르에서만 사용할 수 있어 현장 적용에서 곤란한 점이 있다(Lee et al. 2018). 따라서 고무의 단단한 정도를 측정할 수 있는 장비인 듀로미터를 이용하게 되면 (Kato and Makishima 2017) 짧은 침이므로 굵은골재의 영향이 적고, 또한 간편한 휴대성으로 콘크리트면에서 직접 응결시간을 추정할 수 있을 것으로 사료된다.

그러므로 본 연구에서는 응결시간에 차이를 나타낼 수 있을 것으로 생각되는 3성분계 광물질 혼화재(SCMs)를 사용하는 고유동 콘크리트에서 표면 마감작업 시간과 연관된 프록터 관입저항치인 초결 및 종결의 응결시간을 듀로미터를 이용하여 측정한 경도치와 비교하여 듀로미터에 의한 응결시간의 추정 가능성을 분석하고자 한다.

\* Corresponding author E-mail: juhyukee@naver.com

<sup>1</sup>청주대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Professor, Cheongju, 28503, Korea)

<sup>2</sup>청주대학교 건축공학과 석사과정 (Department of Architectural Engineering, Cheongju University, Master Course, Cheongju, 28503, Korea)

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획 및 사용재료

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다. 즉, 본 연구는 3성분계 SCMs 고유동 콘크리트를 대상으로 물결합재비는 40%, 목표 슬럼프 플로는 600±100mm, 목표 공기량은 4.5±1.5%로 하였다. SCMs의 치환율은 플라이애시(이하 FA), 고로슬래그 미분말(이하 BS)을 1대1로 하여 0, 10, 20, 30%로 하였다. 이때 응결시간은 모르타르에서는 프록터 관입저항 시험기와 듀로미터 C, D타입을 사용하였고, 콘크리트에서는 프록터 관입침을 사용 할 수 없음을 따라서 듀로미터 C, D타입만을 측정하는 것으로 하였다.

Table 1. Experimental plan

Test items		Variables		
Mixture	W/B (%)	1	• 40	
	Target slump flow (mm)		• 600±100	
	Target air contents (%)		• 4.5±1.5	
	SCMs(FA+BS) replacing ratio (%)	4	• 0, 10, 20, 30	
Experiment variable	Fresh concrete		3	• Slump flow • Slump • Air contents
	Setting time	Mortar	3	• Proctor • Durometer type C • Durometer type D
				Concrete

### 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 OPC 및 골재, 혼화재료는 국내산의 일반적인 것을 이용하였다. 사용된 각 재료의 물리적 성질은 Table 2~6과 같다.

Table 2. Mix proportion of the concrete

SCMs replacing ratio(%)	W	C	FA	BS	S	G	SP (C%)	AE (C%)
	(kg/m <sup>3</sup> )							
0	165	413	-	-	844	880	0.58	0.03
10		371	21	21	839	875	0.46	0.04
20		330	41	41	835	871	0.42	0.04
30		289	62	62	831	866	0.40	0.04

Table 3. Physical properties of cement

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Compressive strength(MPa)		
			3 days	7 days	28 days
I (OPC)	3.15	3 390	24.8	39.3	56.9

Table 4. Physical properties of aggregate

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness modulus	Water absorption ratio (%)	Passing ratio of 0.08 mm sieve (%)
Fine aggregate	2.56	2.76	2.03	2.83
Coarse aggregate	2.67	6.68	0.58	-

Table 5. Chemical and physical properties of fly ash

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Loss of ignition (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Humidity (%)
2.21	3 520	4.60	52.3	0.13

Table 6. Chemical and physical property of blast furnace slag

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Loss of ignition (%)	Humidity (%)	Chemical composition(%)				
				MgO	SO <sub>3</sub>	Cl	SiO <sub>2</sub>	CaO
2.90	4 254	1.91	0.23	5.26	1.95	0.002	34.20	42.50

### 2.3 실험방법

본 실험의 실험방법으로 먼저 콘크리트의 제조는 Fig. 1의 순서에 따라 실시하였다.

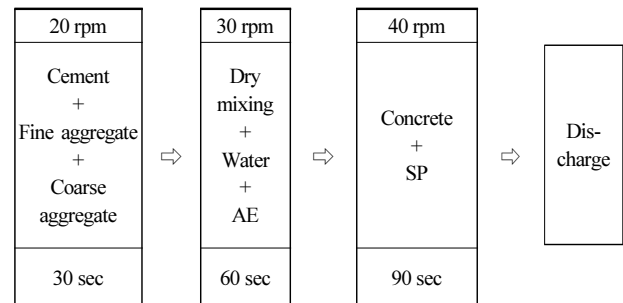


Fig. 1. Mixing sequence of concrete

응결시간 측정과 관련하여 습식 체가름한 콘크리트를 이용하는 프록터 관입저항시험기의 경우는 KS F 2436의 방법으로 Fig. 2와

같이 실시하였다.

또한 프록터 관입저항시험기로 관입저항치를 측정할 때 Fig. 3 과 같은 H사 듀로미터 C 타입과 D 타입도 함께 ASTM D 2240의 방법을 참고하여 측정하였다. 단, 이 경우는 오차를 최소화 하기위 해 듀로미터 측정치는 5회 측정 후 평균값을 사용하였다. 콘크리트의 응결측정은 콘크리트 시험체(압축강도  $\phi 100 \times 200$ mm 공 시체)의 상면에서 듀로미터를 관입시켜 저항치를 측정하였다. 듀로미터에 의한 콘크리트 표면의 경도로부터 응결시간을 추정하는 원리는 Fig. 4와 같다.



Fig. 2. Proctor penetration resistance tester



Fig. 3. Durometer C, D type

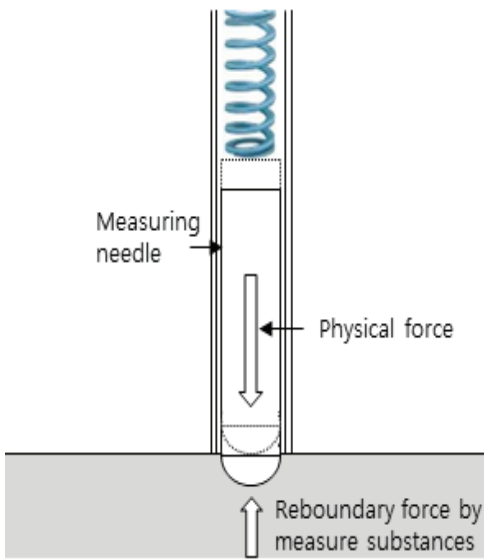


Fig. 4. Measurement of surface hardness by Durometer

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지않은 상태의 특성

굳지않은 콘크리트의 특성은 Table 7과 같다. 즉, FA와 BS를 1:1로 혼합하여 사용한 분체계 고유동 콘크리트의 실험결과는 배합 설계에 의하여 진행하였으므로 모두 목표 슬럼프플로 및 공기량 범위를 만족하였다.

Table 7. Test results for fresh concrete

SCMs ratio (%)	Slump flow (mm)	Slump (mm)	Air contents (%)	Setting time	
				Initial set (m.)	Final set (m.)
0	695	270	3.1	8h 10m	12h 5m
10	610	270	5.7	10h 0m	14h 5m
20	640	265	5.8	10h 10m	14h 30m
30	565	260	5.7	11h 0m	15h 40m

#### 3.2 응결시간 특성

##### 3.2.1 모르타르

모르타르 상태에서의 응결시간과 관련하여 Fig. 5는 SCMs 치환율 변화별 경과시간에 따른 프록터 관입저항치를, Fig. 6은 Fig. 5의 시험결과로 부터 초결 및 종결을 나타낸 것이다. 전반적인 경향으로 SCMs의 치환율이 증가할수록 응결시간이 지연되는 경향을 보였는데, 이는 SCMs를 치환함에 따라 시멘트 분체량이 저하하여 수화반응이 지연된 것으로 판단된다.

Fig. 7은 SCMs 치환율 변화에 따른 듀로미터 C 타입에 대한 경도치(HD)를 나타낸 것이다. SCMs 치환율이 증가함에 따라 프록터 관입저항치와 유사하게 변화하는 경도치 경향을 보였다. 특히, 듀로미터 C 타입은 굵은 측정침에 민감한 변화에 따라서 프록터 관입저항치의 작은 범위를 나타낼 수 있었으며 응결시간으로는 초결까지 측정이 가능한 것으로 나타났다. 즉, 약 35HD 전후의 값을 초결 측정치로 관리하면 활용이 가능할 것으로 사료된다.

Fig. 8은 SCMs 치환율 변화에 따른 듀로미터 D 타입에 대한 경도치를 나타낸 것이다. 이 또한 프록터 관입저항치와 유사한 경향을 나타내었는데, 듀로미터 D 타입은 측정침의 형상이 송곳의 형태로 가늘고 둔감한 변화로 초결 이후부터 종결사이를 측정하기에 용이한 것을 알 수 있었다. 약 10 HD 전후의 측정치로 종결 시간을 나타내었다.

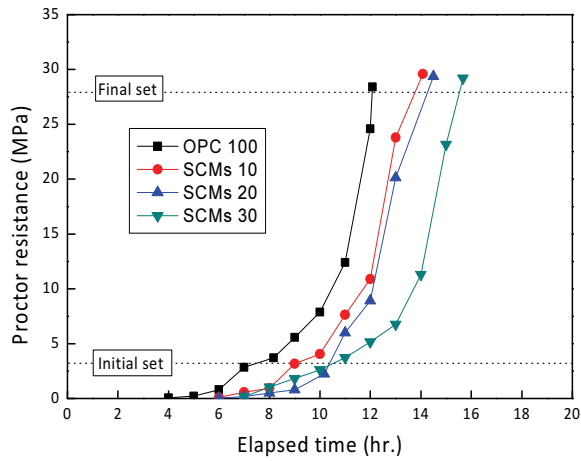


Fig. 5. Penetration resistance with elapsed time

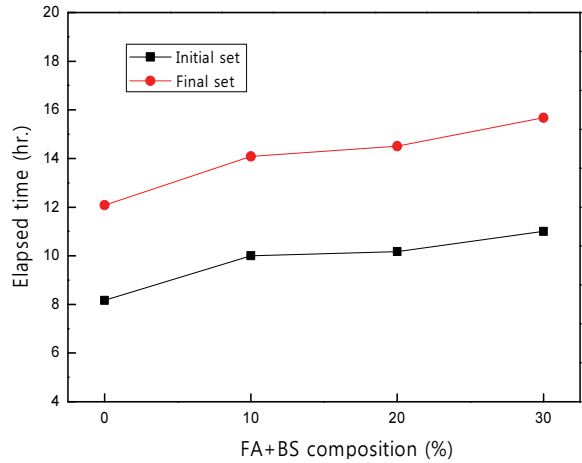


Fig. 6. Initial set and final set with CGS contents

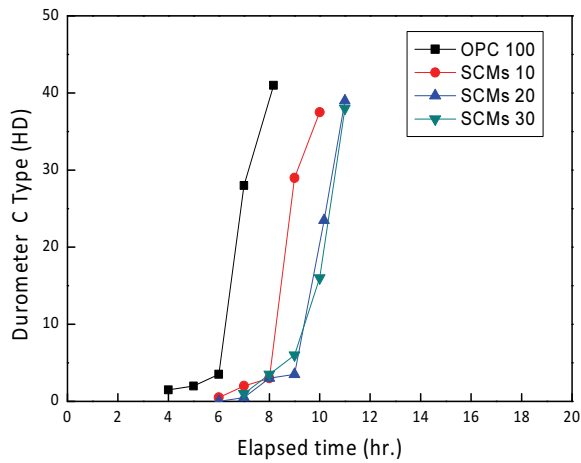


Fig. 7. Hardness by Durometer C type with elapsed time

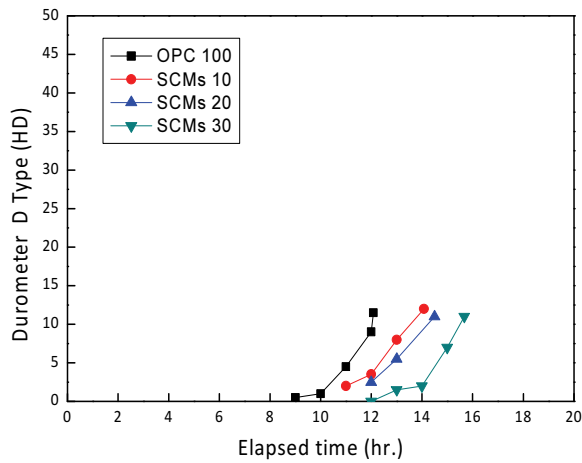


Fig. 8. Hardness by Durometer D type with elapsed time

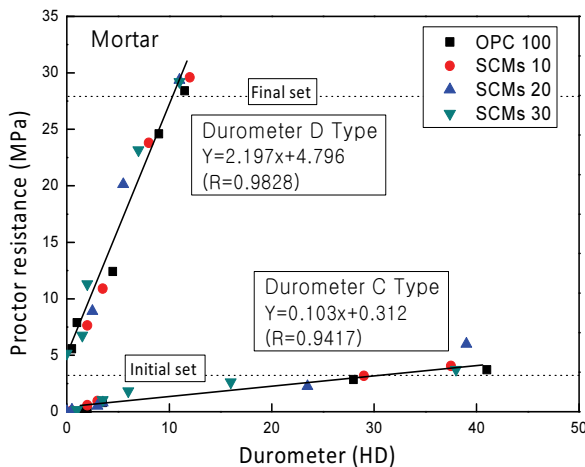


Fig 9. Relationship between penetration resistance and hardness by Durometer in mortar

Fig. 9는 프록터 관입저항치와 듀로미터 C 타입, D 타입 측정치 간의 상관관계를 나타낸 것이다. 초결시간은 듀로미터 C 타입의 경우는 경도값 31 HD, 종결은 D type 경도값 11 HD로 나타남에 이 값을 콘크리트 응결시간 추정에 적용하여 활용하면 간단히 콘크리트 타설 표면 마감 시점관리 등 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.2.2 콘크리트

Fig. 10은 콘크리트 상태에서 듀로미터 C 타입에 대한 경도치 (HD)를 나타낸 것이다. 모르타르와 유사한 경향을 나타내었으나 다소 측정치가 큰 것으로 나타났는데 이는 콘크리트 표면의 모르타르층으로 표면에서 경도측정이 가능하지만 약간의 굽은골재의 영향을 받은 것으로 판단된다. 이때 초결시간은 약 40 HD의 값을 이용하면 될 것으로 사료된다.

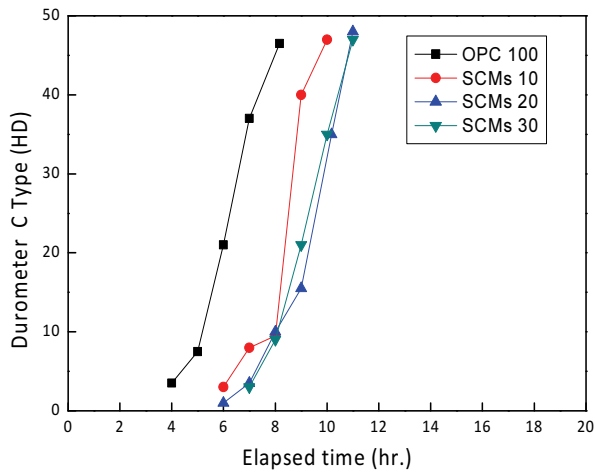


Fig. 10. Hardness by Durometer C type with elapsed age in concrete

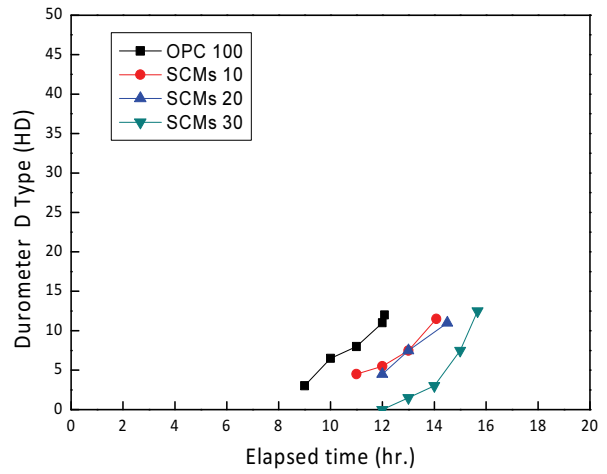


Fig. 11. Hardness by Durometer D type with elapsed age in concrete

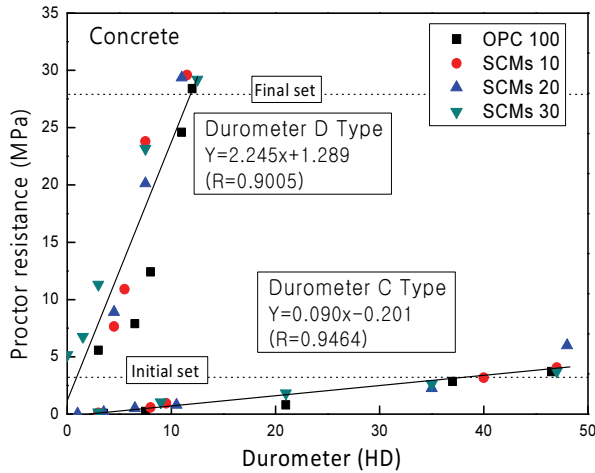


Fig. 12. Relationship between penetration resistance and hardness by Durometer in concrete

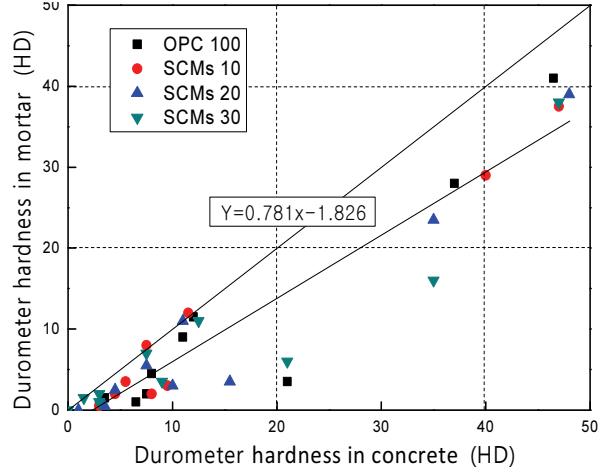


Fig. 13. Relationship between hardness by Durometer in mortar and hardness by Durometer in concrete

Fig. 11은 콘크리트 상태에서 듀로미터 D 타입에 대한 경도치를 나타낸 것이다. 모르타르와 유사한 경향을 나타내었는데 약 10 HD의 측정치로 종결 시간을 나타내었다.

Fig. 12는 콘크리트를 체가름한 모르타르에서의 프록터 관입 저항치와 콘크리트상태의 듀로미터 C, D 타입 경도치의 상관관계를 나타낸 것이다. 듀로미터 C 타입은 0.9464의 높은 상관계수로 초결시간 측정에 약 41정도의 HD 값을, 듀로미터 D타입의 경우는 0.9005의 상관성으로 11정도의 HD값을 활용하면 종결시간 판정에 효과적으로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 13은 모르타르에서의 듀로미터 경도치와 콘크리트에서의 경도치를 상호 비교하여 나타낸 것이다. 경도치들이 10~20%전후

로 콘크리트 시험에서 크게 분포하고 있어 굵은골재의 영향에 기인함을 알 수 있었다. 따라서 굵은골재의 영향을 고려한 듀로미터 경도치와 콘크리트의 응결시간을 연관하면 콘크리트 표면마감 시간 품질관리에 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구는 3성분계 고유동 콘크리트의 표면 마감 시간 추정에 듀로미터의 이용 가능성을 분석하였다. 즉, 콘크리트 표면의 듀로미터에 의한 경도 측정과 습식체가름한 모르타르 상태에서의 프록터 관입 저항치를 상관분석하여 듀로미터에 의한 응결시간 판정의

가능성을 분석하고자 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 모르타르 및 콘크리트 시험체에서 프록터 관입저항시험기와 듀로미터의 경도치는 높은 상관관계가 있음을 확인할 수 있었다.
- 2) 듀로미터 C타입의 경우는 초결까지의 측정에 활용하여 마감 작업 개시 시간결정에, D타입의 경우는 종결시간 측정에 활용하여 표면마감 작업 한계시간 또는 양생시작 시간 관리에 효과적으로 활용될 것으로 기대된다.
- 3) 듀로미터의 경우 콘크리트 상태에서 체가름한 모르타르를 사용한 경우보다 콘크리트 상태일 때 굵은골재의 영향으로 10~20% 정도 큰 값을 나타내었으나 이를 감안하여 초결 및 종결 측정치로 관리한다면 큰 문제점은 없을 것으로 사료된다.
- 4) 콘크리트의 응결시간을 판정시 듀로미터로 초결시간은 C 타입으로 약 41HD, 종결시간은 D 타입으로 약 11HD로 평가하면 용이하게 관리될 수 있는 것으로 판단된다. 이 경우는 프록터 관입저항시험기 보다 간편한 듀로미터의 휴대성을 가지고 콘크리트 표면마감 시간을 정량적으로 관리할 수 있을 것으로 사료되었다.

### Conflict of interest

None.

### 감사의 글

이 논문은 2018~2019년도 청주대학교 연구 장학 지원에 의해 수행되었습니다.

### References

Han, C.G. (2008). Remicon Quality Control 2, Kimoondang.

Kato, J., Makishima, O. (2017). Proposal for effective construction management technique by setting management at concrete placement, Proceedings of Architecture Institute of Japan, 423-424.

Korea Concrete Institue. (2010). Concrete Working-Manual, Concrete Curing, Kimoondang.

Lee, H.J., Han, J.H., Kim, T.W., Lee, D.Y., Jang, D.B., Han, M.C. (2018). Substitution of blast furnace slag using durometer determination of the surface closing time of high fluidity concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, **30(1)**, 353-354 [in Korean].

Shin, K.J., Lee, D.K., Seo, D.W., Yoo, C.M., Lim, M.H., Lim, S.H. (2016). Setting estimation of cement paste using new-type embedded sensor, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **4(4)**, 483-488 [in Korean].

Shin, Y.S., Han, M.C. (2019). Estimation of the setting time of the high flowing concrete using durometer, Journal of the Architectural Institute of Korea, **35(9)**, 143-151 [in Korean].

#### 듀로미터를 이용한 3성분계 고유동 콘크리트의 응결시간 추정

본 연구는 콘크리트 타설 현장에서 숙련된 작업자의 경험과 감각에만 의존하던 표면 마감작업 시간을 듀로미터의 경도치로 추정이 가능한지 프록터 관입저항 시험치와 비교하여 분석하였다. 연구 결과로 듀로미터 경도치와 프록터 관입저항치는 상관성이 매우 높게 나타났다. 따라서 콘크리트 표면에서 듀로미터 측정값으로 초결 시간은 듀로미터 C 타입으로 41 HD전후 일 때, 종결 시간은 듀로미터 D 타입으로 11 HD전후 일 때로 밝혀졌다. 따라서 프록터 관입저항 시험기보다 듀로미터의 경우는 편리한 휴대성을 가지고 콘크리트의 표면 마감 작업시간을 정량적으로 관리할 수 있을 것으로 사료되었다.