

# 콘크리트의 응결시간 판정시 개량형 듀로미터의 사용 가능성 분석

## Feasibility Study of Modified Durometer to Evaluate Setting Time of the Concrete

한 천 구<sup>1</sup>

한 민 철<sup>2\*</sup>

신 용 섭<sup>3</sup>

Han, Cheon-Goo<sup>1</sup>

\*Han, Min-Cheol<sup>2</sup>

Shin, Yong-Sub<sup>3</sup>

Chair Professor, Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea <sup>1</sup>

Professor, Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea <sup>2</sup>

Doctor Course, Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea <sup>3</sup>

### Abstract

In this study, a new type of Durometer was invented by modifying the currently used Durometer with the hemisphere shaped needle to columnar shaped needle. The aim of the study is, hence, to provide the feasibility of the advanced Durometer for assessing setting time of the concrete. Generally, the finishing of concrete surface should be conducted to secure the smooth surface, improve the permeability, and prevent the plastic shrinkage cracking. Although this surface finishing work should be conducted during the plastic phase between initial and final setting, currently in practical situations, the timing of starting the finishing work was determined by the sense of the worker. To improve this situation, Kato Junji suggested to use the hemisphere and needle shaped Durometers to determine the initial and final setting time, respectively. However, in this case, there are difficulties of using two different Durometers and of occurring failure of the Durometer due to the intruded cement paste. To prove the feasibility of new typed Durometer, setting time and surface hardness were evaluated by applying for the concrete with various replacing ratios of fly-ash and coal gasification slag as an aggregate.

Keywords : setting time of concrete, procter penetration resistance tester, modified durometer

## 1. 서 론

콘크리트 공사에서 타설완료 후 마감 작업은 표면 평활화, 수밀성 향상, 침하 및 소성수축 균열방지 등의 목적으로 반드시 실시되어야만 하는 중요한 공정이다. 그런데, 이러한 표면 마감작업은 응결시간과 관련이 있다[1]. 즉, 초결 전에 표면

마감작업을 실시하게 되면 타설된 콘크리트는 아직 액체상태로 마감작업 장비의 무게를 견디지 못하여 표면에 흔적을 남기게 되고, 마감작업 후 침하균열 및 기포가 상승하는 등의 문제가 발생할 수도 있다. 또한 종결 이후의 늦은 시간에 실시하게 되면 고체상태로 표면마감 작업에 어려움이 있어 가수 후 작업을 실시하여야 하는데, 이때에는 콘크리트 표면의 물시멘트비가 증가함에 따라 콘크리트 표면의 강도가 저하하는 문제가 발생할 수 있다[2]. 따라서 표면 마감작업을 실시하는 시점은 실무 현장에서 중요시되고 있지만, 수치적으로 관리되지 못하고 작업자의 경험과 감각에 의존되고 있는 상황이다.

Received : July 16, 2020

Revision received : August 28, 2020

Accepted : October 7, 2020

\* Corresponding author : Han, Min-Cheol

[Tel: 82-43-229-8484, E-mail: twhan@cju.ac.kr]

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

그러나, 응결시간을 측정할 수 있는 장비로는 프록터 관입 저항 시험기가 있어 관입 저항치로 초결은 3.5 MPa, 종결은 28 MPa로 관리되도록 규정하고 있지만 이 시험기는 무게가 무겁고, 측정침의 길이가 길어 습식 체가름한 모르타르에서만 사용할 수 있어 현장 적용이 어려운 실정이다[3]. 따라서 고무의 단단한 정도를 측정할 수 있는 다이얼게이지(시계)모양의 휴대가 간편한 고무경도계로 사용 되었던 듀로미터를 이용한 콘크리트의 응결시간 판정 가능성을 일본의 Kato junji가 제안한 바 있다. 그 결과, 바늘모양이 반구형인 듀로미터(C Type)는 초결, 핀형 듀로미터(D Type)는 종결 측정에 사용이 가능한 것으로 제안하고 있으나 초결 및 종결시간 측정에 2개의 기기를 교환하며 사용해야 하는 번거로움이 있고, 침의 모양에 의해 시멘트 페이스트의 유입이 용이하여 기기 고장을 유발하고 있는 문제점이 예상된다[4,5].

그러므로 본 연구에서는 상기의 문제점을 개선하기 위하여 기존에 연구된 반구형 듀로미터의 침 형상을 원주형으로 개선하여 개량형 듀로미터로 한 다음[6-12], 응결시간을 판정하고자 한다. 이를 위해 응결시간에 차이를 나타낼 수 있을 것으로 예상되는 결합재 변수로 플라이애시(이하 FA)의 치환율 변화와 골재 변수로 석탄가스화 발전에서 발생하는 Coal Gasification Slag(이하 CGS)를 잔골재로 치환하는 콘크리트에서 응결시간을 표준적인 프록터 관입 저항치와 바늘모양이 반구형 및 핀형 듀로미터 및 본 연구에서 도입하고자 하는 개량형 듀로미터의 경도치를 측정할 다음 상호 비교함으로써, 개량형 듀로미터의 사용 가능성을 분석하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 콘크리트 배합표는 Table 2와 같다. 즉, 실무상황과 실험요인을 복합적으로 고려하여 물 결합재비는 50%로 고정하고, 플레인 배합의 목표 슬럼프는 120±25 mm, 목표 공기량은 4.5±1.5%로 배합설계 한 다음 여타의 배합에도 동일하게 적용하였다. 결합재 변수로는 FA를 0, 15, 30%, 골재 변수로는 잔골재에 CGS 치환율을 0, 25, 50%로 실험계획 하였다. 이때 콘크리트의 기초적 특성은 슬럼프, 공기량 및 7, 14, 28일 압축강도를 측정하는 것으로 하였고, 응결시간은 프록터 관입저항 시험기와 반구형(C형), 핀형(D형) 듀로미터 및 바늘의 모양을 반구형을 원주형으로 바꾼 개량형 듀로미터를 이용하여 측정

하는 것으로 하였다.

Table 1. Experimental plan

Test items		Variables
Mixtures	W/B (%)	· 50
	Target slump (mm)	· 120±25
	Target air contents (%)	· 4.5±1.5
	FA replacing ratio (%)	· 0, 15, 30
	CGS replacing ratio (%)	· 0, 25, 50
Experiment variables	Fundamental properties of concrete	· Slump · Air contents · Compressive strength (7, 14, 28 days)
	Setting time	· Penetration resistance tester · Hemisphere type Durometer · Pin type Durometer · Improved type Durometer

Table 2. Mix proportions of the concretes

FA replacing (%)	CGS replacing (%)	W	C	FA (kg/m <sup>3</sup> )	CG (kg/m <sup>3</sup> )	CS (kg/m <sup>3</sup> )	CGS (%)	SP (%)	AE (%)
0	0	360	0	868	849	0			
	25	360	0	868	637	212			
	50	360	0	868	425	424			
15	0	306	54	860	840	0			
	25	180	306	54	860	630	210	0.1	0.15
	50	306	54	860	420	420			
30	0	252	108	852	832	0			
	25	252	108	852	624	208			
	50	252	108	852	416	416			

개량형 듀로미터는 바늘을 원주형으로 수정하므로써 콘크리트 혹은 모르타르 접촉면에서의 저항성을 높여 두 개의 듀로미터를 하나로 해결할 수 있고, 측정치도 초결이 작고 종결이 큰 값으로 순리적이며, 반구형의 눌러진 바늘틈 사이로 시멘트 페이스트나 모르타르가 밀려 들어가는 고장도 줄일 수 있을 것으로 추측되어 개량하였다.

### 2.2 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트, 골재 및 혼화재료는 일반적인 국내산을 이용하였다. 각 재료의 물리적 성질은 Table 3~6과 같다.

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 aggregates

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness modulus	Water absorption ratio (%)	Passing ratio of 0.08 mm sieve (%)
Fine aggregate	2.57	2.71	1.57	2.83
CGS	2.56	3.16	3.49	2.28
Coarse aggregate	2.63	7.15	0.36	0.13

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 (%)
2.22	4 012	3.40	47.44	0.10

Table 6. Physical properties of chemical agent

Type	Form	Main ingredient	Color	Density (g/cm <sup>3</sup> )
SP	Liquid phase	Polycarboxylate	Dark brown	1.06
AE	Liquid phase	Naphthalene	Whitish	1.04

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 제조는 Figure 1의 순서에 따라 2축 강제식 믹서를 사용하여 실시하였다. 콘크리트의 기초적 특성 실험으로 슬럼프치는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2409, 압축강도는 KS F 2403에 따라  $\varnothing$  100×200mm 공시체를 제작한 후 표준양생한 다음 KS F 2405에 따라 압축강도를 구하였다.

또한 콘크리트의 응결시간과 관련하여 프록터 관입저항시험기는 Figure 2와 같은 시험기를 표준온도 조건에서 KS F 2436의 시험방법에 따랐다. 관입 저항치를 측정할 때에는 Figure 3~5 및 Table 7과 같은 H사의 반구형 듀로미터, 핀형 듀로미터 및 개량형 듀로미터도 프록터 관입 저항시험에 이용한 동일 용기 및 동일 시료에 대하여 ASTM D 2240을 참고하여 Table 8과 같이 표면압입에 따른 저항치로 경도치를 측정하였다. 이때 개량형 듀로미터는 Figure 3의 우측과 같은 반구형 듀로미터의 침을 Figure 5와 같이 변형시켜 제작하였다. 단 이때 오차를 최소화하기 위하여 듀로미터 측

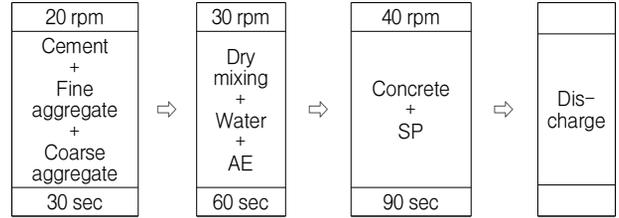


Figure 1. Mixing sequence of concrete



Figure 2. Proctor penetration resistance tester

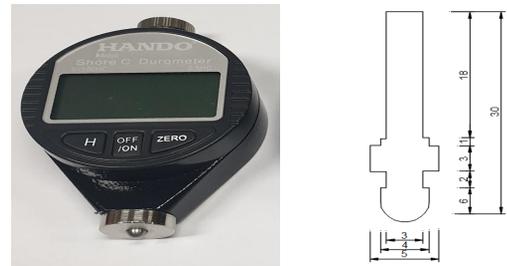


Figure 3. Hemisphere type durometer

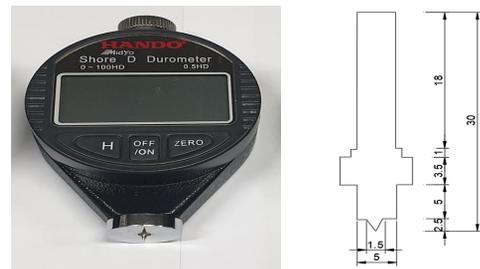


Figure 4. Pin type durometer



Figure 5. Improved type durometer



Figure 6. Measurement method of durometer

Table 7. Shapes of the needle depending on durometer types

Type	Form	Scale value (HD)	Pressured end pressure(N)	Probe size (mm)
A	Cone	0~100	0.55~8.06	ø 0.79
C	Hemisphere	0~100	0.55~8.06	SR 2.5 (SR: Spherical Radius)
D	Pin	0~100	0~44.5	SR 0.1

정값은 5회 측정 후 평균치를 사용하였고, 사용방법은 Figure 6과 같다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 콘크리트의 기초적 특성

콘크리트의 실험결과로 콘크리트의 기초적 특성은 Table 9와 같다. 먼저 굳지않은 콘크리트의 특성으로 FA와 CGS를 치환함에 따라서 둥근 입자 모양에 기인하여 유동성은 증가하였고, 미연소 탄분에 의한 AE제 흡착작용으로 공기량은 저하되는 것으로 나타났다. 압축강도는 FA의 치환율이 증가할수록 28일 이내의 재령에서는 낮은 강도를 나타내고 있는데, 이는 FA의 특성인 OPC 수화반응 후 진행되는 포졸란 반응에 기인하여 28일 이내에서는 강도발현이 지연되어 낮게 나타난 것으로 판단된다. 또한 CGS의 치환율이 증가하였을 경우에는 강도가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 공기량 감소 및 CGS의 입도분포에 따른 최밀충전 효과에 의한 것으로 판단된다.

#### 3.2 응결시간 특성

##### 3.2.1 프록터 관입 저항치

Figure 7은 시간경과에 따른 프록터 관입 저항치를 나

Table 8. Comparison of the performance of test apparatuses to measure setting time

classification	Comparison	
	Penetration resistance tester	Durometer
Specimens	wet screening mortar	Mortar, Concrete
Surface condition fo tested specimen	mortar face	Without bleeding, smooth side
easiness in handling	Uncomfortable	Comfortable
Weight	20,00 kg	0.13 kg
Measuring method	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Collect the mortar specimen by sieving the collected concrete samples with 5 mm.</li> <li>2. Put more than 2/3 of mortar in a container.</li> <li>3. The penetration of the proctor every time you go through a certain process and insert the needle into the specimen to read the resistance.</li> <li>4. Calculate the penetration resistance value during the penetration resistance to the needle diameter.</li> <li>5. Measure the penetration resistance value over time at regular intervals, and determine 3.5 MPa for initial set and 28 MPa for final set.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Turn the switch on by pressing the OFF/ON button. If not 000, press the ZERO button to get zero.</li> <li>2. Press the measuring instrument against the surface of the measuring specimen as shown in Figure 6 and insert it until it stops entering the chin that supports the needle.</li> <li>3. Record the number in indicator by pressing h button</li> <li>4. Estimate the initial set and final set from the correlation of the value of the proctor penetration resistance with the average measurement of the nearest distance of 10mm at the hardness of the Durometer five times.</li> <li>5. Press the hold button to zero, clean the needle, and press the OFF/ON button to finish the measurement.</li> </ol>

타낸 것이고, Figure 8은 Figure 7의 결과로부터 CGS 치환율별 FA 치환율 변화에 따른 초결과 종결시간을 나타낸 것이다. 먼저, FA 치환율이 증가함에 따라 응결시간이 지연되는 것으로 나타났는데, 이는 FA 치환율이 증가함에 따른 시멘트 분체량 감소에 기인한 것으로 분석된다. 또한 CGS를 잔골재로 치환·활용함에 따른 응결시간은 CGS 치환율이 증가할수록 약간 촉진되는 경향이지만, 그 영향은 크지 않아 거의 유사한 초결 및 종결시간을 나타내었다.

Table 9. Test results of concretes

FA replacing (%)	CGS replacing (%)	Slump (mm)	Air contents (%)	Compressive strength (MPa)		
				7 days	14 days	28 days
0	0	100	5.0	20.7	31.6	38.6
	25	110	1.2	21.7	38.3	42.1
	50	125	1.0	22.1	38.1	40.8
15	0	110	1.5	19.1	31.7	40.7
	25	120	1.3	19.5	33.4	41.6
	50	135	1.4	15.4	34.6	39.2
30	0	130	1.1	17.8	27.2	29.6
	25	145	1.2	15.4	23.0	34.6
	50	180	1.0	15.2	24.4	30.8

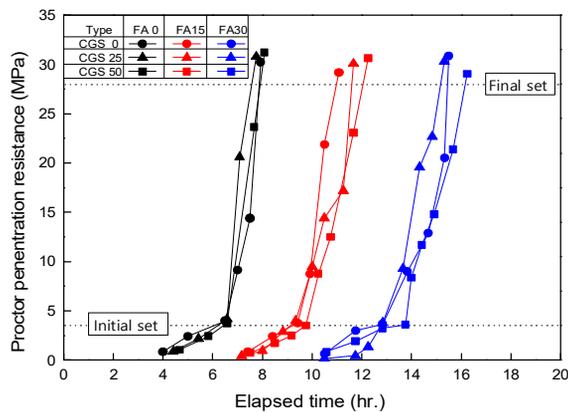


Figure 7. Proctor penetration resistance with elapsed time

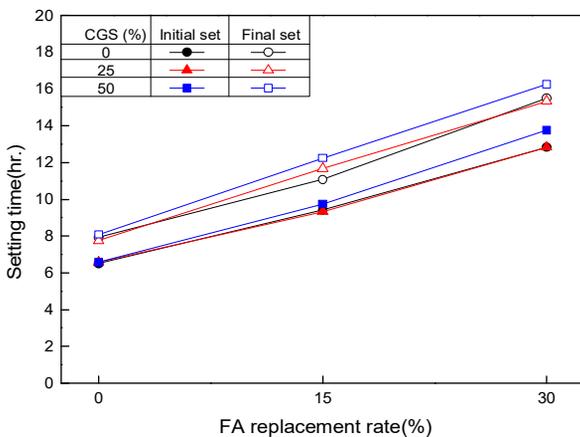


Figure 8. Initial and final set with FA contents

### 3.2.2 듀로미터 경도치

#### 1) 반구형 및 편형

Figure 9는 시간경과에 따른 반구형 듀로미터의 경도치를, Figure 10은 시간경과에 따른 편형 듀로미터의 경도치를 나타낸 것이다. Kato junji의 연구와 같이 반구형 듀로미터

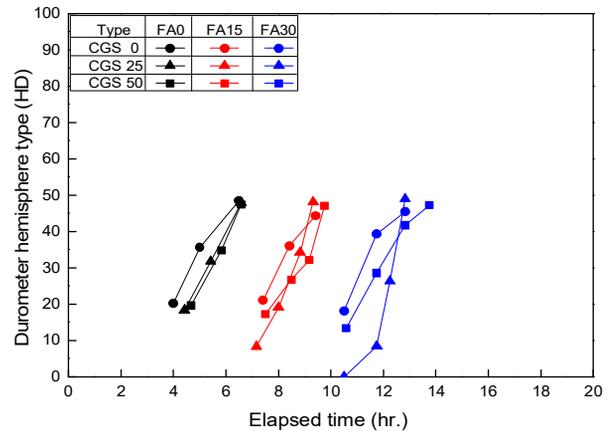


Figure 9. Hardness by hemisphere type durometer with elapsed time

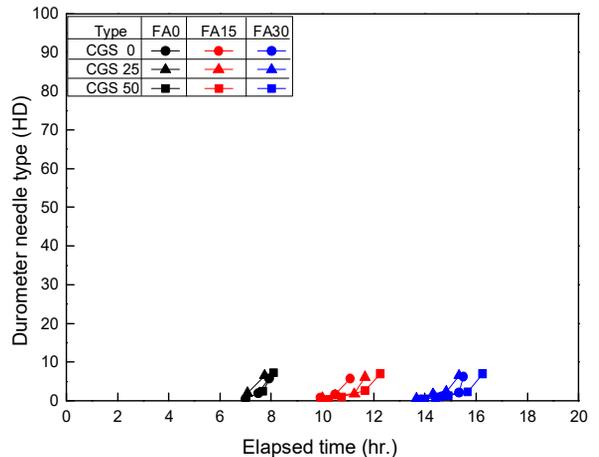


Figure 10. Hardness by pin type durometer with elapsed time

는 액체상태와 소성체 상태의 경계인 초결시간의 측정이 가능하였고, 편형 듀로미터는 소성상태와 고체상태의 경계인 종결시간의 측정이 가능하였다. Figure 11은 종축에 프록터 관입 저항치와 횡축에 반구형 듀로미터 및 편형 듀로미터의 경도치로 하여 상호간 상관관계를 나타낸 것이다. 초결시간은 반구형 듀로미터로 약 45 HD 전후의 경도치로, 종결시간은 편형 듀로미터로 약 5 HD 전후에서 나타남을 알 수 있었다.

이때 두가지 타입의 듀로미터 모두는 프록터 관입 저항치와 유사하게 FA치환율이 증가함에 따라서는 시멘트사용량 저하로 응결시간이 지연되는 것으로 나타났으며, CGS를 잔골재로 활용한 경우는 응결시간에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

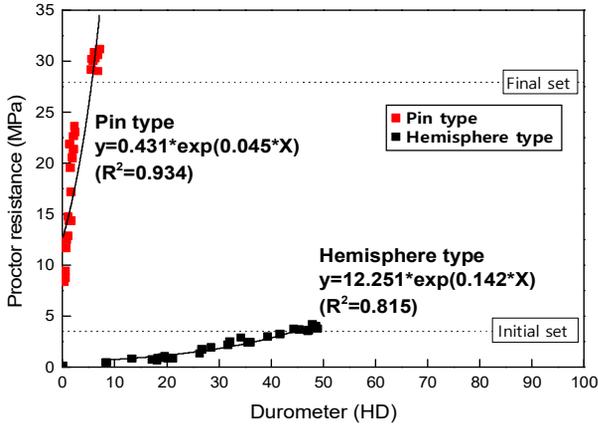


Figure 11. Relationships between proctor resistance and hardness by hemisphere and pin type durometer

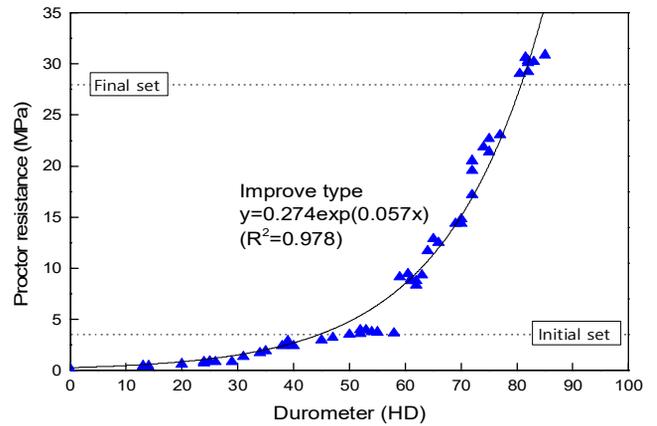


Figure 13. Relationships between proctor resistance and hardness by improve type durometer

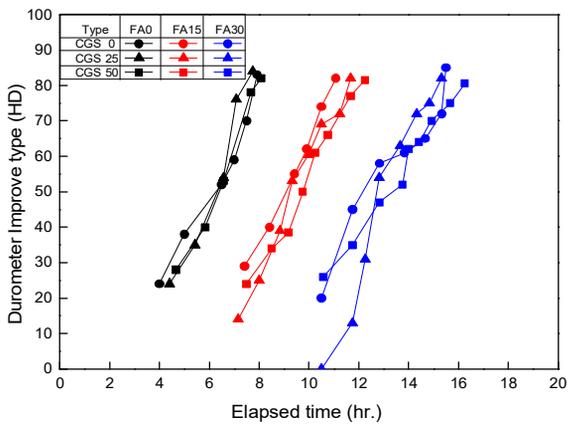


Figure 12. Hardness by improve type durometer with elapsed time

2) 개량형

Figure 12는 시간경과에 따른 개량형 듀로미터의 경도치를 나타낸 것이다. 개량형 듀로미터 또한 일반적인 듀로미터와 같이 프록터 관입 저항치와 유사한 경향으로, FA치환율이 증가함에 따라서는 응결시간이 지연되고, CGS를 잔골재로 활용함에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. Figure 13은 시간경과에 따른 프록터 관입 저항 시험기의 저항치와 개량형 듀로미터의 경도치 간 상관관계를 나타낸 것이다. 전반적으로는 곡선형의 양호한 상관관계로 약 45 HD 전후의 경도치로 초결을 측정할 수 있었으며 약 80 HD 전후의 경도치로 종결을 측정할 수 있었는데, 이때 상관성은 매우 양호함을 알 수 있었다.

3) 듀로미터간 비교

듀로미터간 비교로서 먼저 Kato junji가 제한한 방법으로

는 Figure 11과 같이 초결시간의 경우 반구형 듀로미터로 45 HD, 종결시간의 경우 편형 듀로미터로 5 HD 전후에서 결정계수 0.87 정도로 양호하게 추정되었다.

반면 본연구에서 핀의 모양으로 반구형을 원통형으로 변경한 개량형 듀로미터의 경우에는 Figure 13과 같이 초결시간의 경우 45 HD, 종결시간의 경우 80 HD 전후에서 결정계수 0.98 정도로 매우 양호함을 알 수 있었다. 즉, 개량형 듀로미터는 Kato junji 방식의 반구형과 편형인 두 개 듀로미터를 하나로 해결할 수 있어 편리함과 경제성에 이점이 있고, 또한 침의 형태를 2개로 이용하다 보니 초결의 값이 크고 종결이 작은 것과는 달리 초결은 작고 종결은 큰 값이 되는 순리에 따를 수 있어 우수함을 알 수 있었다.

추가적으로 개량형 듀로미터는 측정침을 원기둥 형태로 시멘트 페이스트의 출입을 차단할 수 있어 기기 고장을 방지할 수 있는 이점도 있는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 표로 정리하면 Table 10과 같다.

Table 10. Comparison of existing and modified type durometer

Sortation	Normal Durometer (hemisphere, pin)	Modified type Durometer
Readiness	Equipment exchange is required when measuring	Measurements with one device
Convenience	Large value for initial set, small value for final set	Small value for initial set, large value for final set
Failure	Frequent failures due to access to cement paste	Access block of cement paste

4. 결 론

본 연구는 콘크리트의 응결시간 판정에 대하여 침의 형상

을 변경한 개량형 듀로미터로 효율적인 사용 가능성을 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 연구조건에서 프록터 관입저항기에 의한 응결시간은 FA치환율이 증가할수록 크게 늦어졌고, CGS는 거의 차이가 없게 나타났다.
- 2) 반구형, 편형 듀로미터의 경도치 및 개량형 듀로미터의 경도치와 프록터 관입저항 시험기의 시험치는 유사한 경향의 높은 상관관계를 나타내어 응결시간 추정에 유효하게 사용할 수 있는 것으로 평가되었다.
- 3) 기존의 Kato junji의 방법으로 콘크리트의 응결시간을 판정할 경우 초결시간은 반구형 듀로미터로 45 HD, 종결시간은 편형 듀로미터로 5 HD의 경도치를 활용하면 프록터 관입저항기 보다 편리하게 콘크리트의 응결시간을 추정할 수 있었다.
- 4) 개량형 듀로미터로 콘크리트의 응결시간을 판정할 경우, 초결시간은 45 HD, 종결시간은 80 HD를 활용하면 하나의 듀로미터로 콘크리트의 응결시간을 간편하게 추정할 수 있는 것으로 분석되었다.

이상을 종합하여 볼 때 Kato Junji의 방법과 달리 개량형 듀로미터로 콘크리트의 응결시간을 추정하게 되면 기기 하나로 휴대가 간편하고, 초결부터 종결까지 측정치도 순리적으로 커지는 경향이며, 추정의 정확성도 향상되어 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다. 또한 개량형 듀로미터는 기기 안쪽으로 시멘트 페이스트의 출입을 차단함으로써 고장을 막아 유지 관리성도 우수하며 휴대도 간편하여 실무활용성이 높을 것으로 판단되었다.

## 요 약

콘크리트 공사에서 타설완료 후 마감작업은 표면 평활화, 수밀성 향상, 침하 및 소성수축 균열방지 등의 목적으로 반드시 실시되어야 한다. 그런데, 표면마감작업은 초결과 종결 사이의 소성상태에서 실시 되어야 하는데, 종전의 경우는 기능공의 감에 의해 결정되었다. 이에 일본의 Kato junji는 초결의 경우 반구형 듀로미터, 종결의 경우 편형 듀로미터로 추정하는 것을 제안한 바 있다. 그렇지만, 2개의 듀로미터를 사용함의 번잡함 및 시멘트 페이스트의 기기내부 침입으로 인한 고장의 원인이 됨에 따라 본 연구에서는 반구형 듀로미터의 침을 원주형으로 변형시킨 개량형 듀로미터로 개발하였다. 이때 개량형 듀로미터의 사용 가능성은 결합제로 플라

이애시의 치환율, 골재에 Coal gasification slag의 치환율을 변화시킨 콘크리트 배합에 적용하여 사용 가능성을 분석하였다.

**키워드** : 콘크리트 응결시간, 프록터관입저항시험기, 개량형 듀로미터

## Funding

Not applicable

## Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT). (No. 2019R1I1A3A01062396)

## ORCID

Cheon-Goo Han, <https://orcid.org/0000-0002-4553-946X>

Han. M.C., Han, <http://orcid.org/0000-0002-2555-673X>

Yong-Sub Shin, <https://orcid.org/0000-0002-4522-4900>

## References

1. Korea Concrete Institute. Concrete working manual, Concrete curing. Korea: Kimoondang; 2010. p. 17-8.
2. 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. 2019 sep;35(9):143-50. [https://doi.org/10.5659/JAIK\\_SC.2019.35.9.143](https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2019.35.9.143)
3. Lee HJ, Han JH, Kim TW, Lee DY, Jang DB, Han MC. Blast furnace slag using durometer determination of the surface closing time of high fluidity concrete. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2018 May 02-04; Changwon, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2018. p. 353-4.
4. Han MC, Han ID, Shin YS. Estimation of setting time of concrete using rubber hardness meter. Journals of the Korean Recycled Construction Resources Institute. 2019 Dec;7(4):358-66. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2019.7.4.358>
5. Han MC, Lee HJ. Setting time evaluation of high flowable ternary concrete mix using durometer. Journals of the Korean Recycled Construction Resources Institute. 2020

- Mac:8(1):33-8. <https://doi.org/10.14190/JRCR.2020.8.1.33>
6. Lee HJ, Chol YH, Lee YJ, Shin YS, Han MC, Han CG. An analysis on the possibility of using the improved durometer in estimating the setting time according to the temperature variation of high strength concrete. Proceedings of the Architectural Institute of Korea; 2019 Api 26-7; Seoul, Korea. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2019. p. 620-1.
  7. Lee HJ, Sin SJ, Hyun SY, Shin YS, Jang DB, Han MC. Estimation of setting time for concrete replaced by blast-furnace slag using improved durometer. Proceedings of the Architectural Institute of Korea; 2019 Api 26-7; Seoul, Korea. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2019. p. 622-3.
  8. Lee HJ, Han JH, Shin YS, Lee JS, Han ID, Han MC. Estimation of setting time of concrete incorporating blast-furnace slag using improved durometer. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2019 May 08-10; Jeju, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2019. p. 657-8.
  9. Lee HJ, Choi YH, Han JH, Shin YS, Han ID, Han MC. Estimation of setting time of high strength bs concrete through mock-up test using improved durometer. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2019 May 08-10; Jeju, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2019. p. 679-80.
  10. Lee HJ, Shin YS, Seo HG, Han ID, Han MC, Han CG. Utilization of improved durometer when estimating setting time of FA replacement concrete using CGS for fine aggregate. Proceedings of the The Korean Institute of Building Construction; 2019 Oct 31-Nov 01; Chungju, Korea. Seoul (Korea). The Korean Institute of Building Construction; 2019. p. 81-2.
  11. Lee HJ, Lee YJ, Hyun SY, Shin YS, Han MC, Han CG. Estimation of setting time using improved type durometer of fly ash concrete. Proceedings of The Korean Recycled Construction Resources Institute; 2019 Api 03-5; Wonju, Korea. Seoul (Korea). The Korean Recycled Construction Resources Institute; 2019. p. 79-80.
  12. Lee HJ, Choi YH, Lee JS, Han DY, Han ID, Han MC. Estimation of setting time using improved type durometer of powdered high fluidity concrete. Proceedings of The Korean Recycled Construction Resources Institute; 2019 Api 03-5; Wonju, Korea. Seoul (Korea). The Korean Recycled Construction Resources Institute; 2019. p. 17-8.