

액체밀도계법에 의한 OPC 분말도의 신속추정 및 OPC 분말도가 모르타르의 특성에 미치는 영향

Rapid Evaluation Method for OPC Fineness by Hydrometer and Influence of OPC Fineness on Properties of Mortar

한 천 구¹

김 영 태^{2*}

Han, Cheon-Goo¹

Kim, Young-Tae^{2*}

Professor, Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naduk-Dong, Cheongju-City,
28503, Korea ¹

Doctor Course, Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naduk-Dong,
Cheongju-City, 28503, Korea ²

Abstract

The aim of the research is to analyze a feasibility of rapid evaluation method for cement fineness by the relation analysis between density measurement using hydrometer and fineness of ordinary Portland cement. Additionally, based on the commercially available cement product, relation between a series of fundamental properties of cement mortar and fineness of cement powder was analyzed. As an experimental result, the actually measured fineness value of cement powder showed a good correlation with the fineness value obtained by hydrometer while there was poor correlation with the fineness value on specification. Especially, the density measurement in three minutes showed the closest relation with cement powder fineness, thus rapid quality evaluation of cement powder can be possible by using the regression equation obtained from the three minutes density measurement. Additionally, there was a high relation between cement powder fineness with a fundamental properties of the cement mortar such as fluidity, air content, setting time, and strength development.

Keywords : ordinary portland cement, fineness, hydrometer, acquisition inspection, ready-mixed concrete plant

1. 서 론

레미콘 품질관리 관점에서 골재 및 혼화재료의 품질도 중요하지만, 콘크리트의 수화반응속도에 밀접한 관련이 있는 시멘트 특히 시멘트의 분말도 관리는 매우 중요한 요소가 된다.

즉, 우리나라 전국 레미콘의 경우 원자재의 인수검사로서 골재에 대하여는 품질관리실에서 규정에 따른 품질 시험으

로 인수 검사를 철저히 실시하고 있다. 그러나, 혼화재료 및 시멘트에 대하여는 2015년 개정 KS F 4009(레디믹스트 콘크리트) 공장 심사규준에 의거 시규에 따르도록 정하여져 있지만, 비고에 기재된 내용에 따라 KS 규격품인 경우 납품자의 시험성적서로 같음하고 있는 것이 현실이다[1]. 그렇지만 제출된 성적서는 Lot 단위로 실험한 결과이므로, 특히 시멘트 분말도인 경우 실제 납품된 분말도와는 상관성이 부족한 것으로도 보고된 바 있다[2].

그러므로 본 연구에서는 국내 레미콘 공장에 일정한 주기로 납품되는 시멘트에 대하여 성적서상 분말도와 실측 분말도 간의 차이정도를 분석하고, 아울러 종전에 연구된 액체밀도계법[3] 밀도 값과 분말도간의 상관성을 분석하마로서 시멘트 분말도 신속 추정 가능성을 평가 하고자 한다. 또한

Received : June 25, 2018

Revision received : August 2, 2018

Accepted : August 22, 2018

* Corresponding author : Kim, Young-Tae

[Tel: 82-43-229-8480, E-mail: cbc079@naver.com]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

납품된 시멘트 시료를 이용하여 시멘트 모르타르 상태에서 유동성, 공기량, 강도 등 기초적 특성과 시멘트 분말도간의 상관성을 분석하므로서 OPC의 분말도가 모르타르의 특성에 미치는 영향에 대하여 실증적으로 규명하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Series 1, 2로 나누어 Table 1, 2와 같다.

먼저, Series 1의 경우 시료 변수로 OPC는 레미콘 공장에서 약 1개월간 벌크 시멘트 트럭으로 입고되는 20회분에 대하여 시료를 채취한 다음 계획된 실험에 이용하였다. 이때 실험사항으로 분말도의 경우는 성적서상 분말도와 실측 분말도를 비교하는 것으로 하였고, 아울러 기준에 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 분말도 신속평가[4,5]에 이용되었던 액체밀도계법으로 1분~5분간의 혼탁액 밀도를 측정하여 성적서 및 실측분말도와의 상관관계로부터 분말도 신속 측정의 가능성을 평가하고자 하였다.

Series 2는 모르타르 실험에 관한 것으로 모르타르 배합비는 1 : 3, W/C는 50%, OPC는 Series 1과 동일한 20회 시료를 사용 하였다. 측정사항으로는 굳지 않은 모르타르에서 플로, 공기량 및 응결시간을, 경화 모르타르에서는 재령별 휨강도 및 압축강도를 측정하도록 실험 계획하였다.

Table 1. Experimental plan (Series 1)

Factor		Levels	
Experiment variable	Sampling timing	20	Products from cement plant By specification by actual measurement
	Fineness data	2	
Hydrometer tests	Measuring cylinder (cc)	1	1 000
	Binder weight (g/L)	1	100
	Hydrometer value reading timing (Minute)	5	1, 2, 3, 4, 5

Table 2. Experimental plan (Series 2)

Factor		Levels	
Mixture	C : S	1	1 : 3
	W / C (%)	1	50
Experiment	Sample of OPC (time)	20	Same as Series 1.
	Fresh mortar	3	Flow
			Air content
	Hardened mortar	2	Setting time
Bending strength (3, 28 days) Compressive strength (3, 7, 28 days)			



Figure 1. Test report

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 OPC는 국내에서 생산되는 시료를 사용 하였는데, 1회의 시험성적서 모습은 Figure 1과 같고, 성적서상에 표기된 20회의 물리·화학적 성질은 Table 3과 같다. 잔골재는 국내산 부순 잔골재로 그 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 3. Physicochemical properties of cement

No.	Density (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	L.O.I (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
1	3.13	3 740	2.99	2.43	2.78
2	3.13	3 700	2.99	2.52	2.69
3	3.13	3 750	2.83	2.21	2.83
4	3.13	3 753	2.96	2.36	2.75
5	3.13	3 770	3.16	2.32	2.58
6	3.13	3 800	2.92	2.36	2.80
7	3.13	3 820	2.92	2.38	2.55
8	3.13	3 797	2.80	2.22	2.55
9	3.13	3 670	2.76	2.28	2.61
10	3.13	3 820	2.77	2.39	2.62
11	3.13	3 830	2.69	2.35	2.58
12	3.13	3 700	2.92	2.54	2.60
13	3.13	3 690	2.96	2.40	2.66
14	3.13	3 745	2.69	2.50	2.57
15	3.13	3 640	2.68	2.38	2.68
16	3.13	3 830	2.73	2.34	2.63
17	3.13	3 724	2.77	2.27	2.65
18	3.13	3 700	2.63	2.27	2.57
19	3.13	3 715	2.63	2.27	2.57
20	3.13	3 723	2.79	2.35	2.61

Table 4. Physical properties of crushed fine aggregate

Density (g/cm ³)	Water absorption ratio (%)	Passing ratio of 0.08 mm sieve (%)	Solid volume percentage for shape determination (%)
2.53	1.12	4.90	54.8



Figure 2. Testing process

2.3 실험방법

Series 1의 실험으로 먼저, 성적서상 분말도는 납품 시 제출되는 성적서에 표기된 것으로 하였고, 실측 분말도는 KS L 5106(Blain 공기 투과장치)에 따라 납품 시마다 실험실에서 측정하였다. 액체밀도계를 이용한 밀도측정은 선행연구[4,5,6]에서 최적으로 알려진 메스실린더 1 000cc에 시멘트 시료 100g을 넣은 후 메스실린더 1L 눈금까지 물을 채워 넣은 다음 메스실린더 입구를 밀봉한 뒤 15회 상하반전 운동을 주어 혼합시킨다. 혼합 완료 후 즉시 표준밀도계 6호, A Type의 액체밀도계를 용액 중간에 띄워 매 1분마다 밀도를 측정하였다. 본 실험은 3회 측정 후 평균값으로 하였는데, Figure 2는 실험 측정 모습이다.

Series 2의 실험방법으로 모르타르의 혼합은 KS L 5109에 의거하여 Figure 3과 같은 순서와 시간으로 진행하였다. 측정사항으로 굳지 않은 모르타르에서 플로는 KS L 5111, 공기량은 KS F 2421, 응결시간은 KS F 2763에 의거하여 측정하였고, 경화 모르타르의 특성으로 휨 강도는 KS L 2325, 압축강도는 KS L 5105에 의거하여 진행하였다.

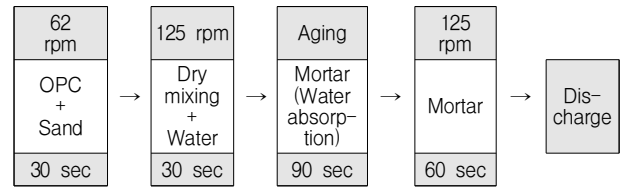


Figure 3. Mixing protocol for mortar

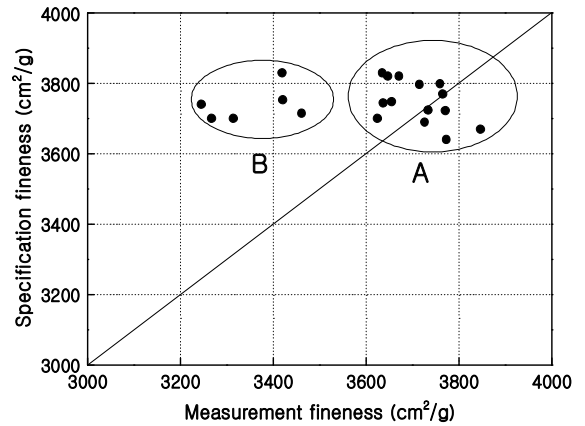


Figure 4. Correlation between fineness on the specification and fineness by actually measured

Table 5. Tset results

No.	Fineness (cm ² /g)		Hydrometer Density (Minute)				
	Specification	Measuremen	1	2	3	4	5
1	3 740	3 245	1.042	1.030	1.017	1.009	1.003
2	3 700	3 624	1.046	1.032	1.023	1.013	1.005
3	3 750	3 655	1.042	1.033	1.023	1.014	1.006
4	3 753	3 421	1.047	1.031	1.020	1.011	1.004
5	3 770	3 765	1.047	1.034	1.026	1.016	1.007
6	3 800	3 759	1.046	1.034	1.026	1.017	1.008
7	3 820	3 647	1.046	1.032	1.023	1.014	1.005
8	3 797	3 715	1.047	1.035	1.026	1.016	1.008
9	3 670	3 846	1.049	1.037	1.028	1.019	1.010
10	3 820	3 671	1.046	1.033	1.024	1.016	1.007
11	3 830	3 635	1.043	1.032	1.024	1.015	1.006
12	3 700	3 314	1.042	1.030	1.019	1.010	1.004
13	3 690	3 726	1.047	1.036	1.026	1.016	1.008
14	3 745	3 637	1.045	1.033	1.024	1.015	1.007
15	3 640	3 773	1.047	1.036	1.026	1.017	1.008
16	3 830	3 419	1.044	1.032	1.020	1.011	1.005
17	3 724	3 734	1.047	1.034	1.025	1.016	1.007
18	3 700	3 267	1.045	1.032	1.017	1.010	1.002
19	3 715	3 461	1.043	1.033	1.020	1.011	1.005
20	3 723	3 771	1.048	1.036	1.027	1.018	1.009

3. 실험결과 및 분석

3.1 품질평가의 가능성 분석 (Series 1)

3.1.1 성적서상 분말도와 실측 분말도의 상호비교

Figure 4는 본 실험에 사용된 OPC 시료 20회의 Table

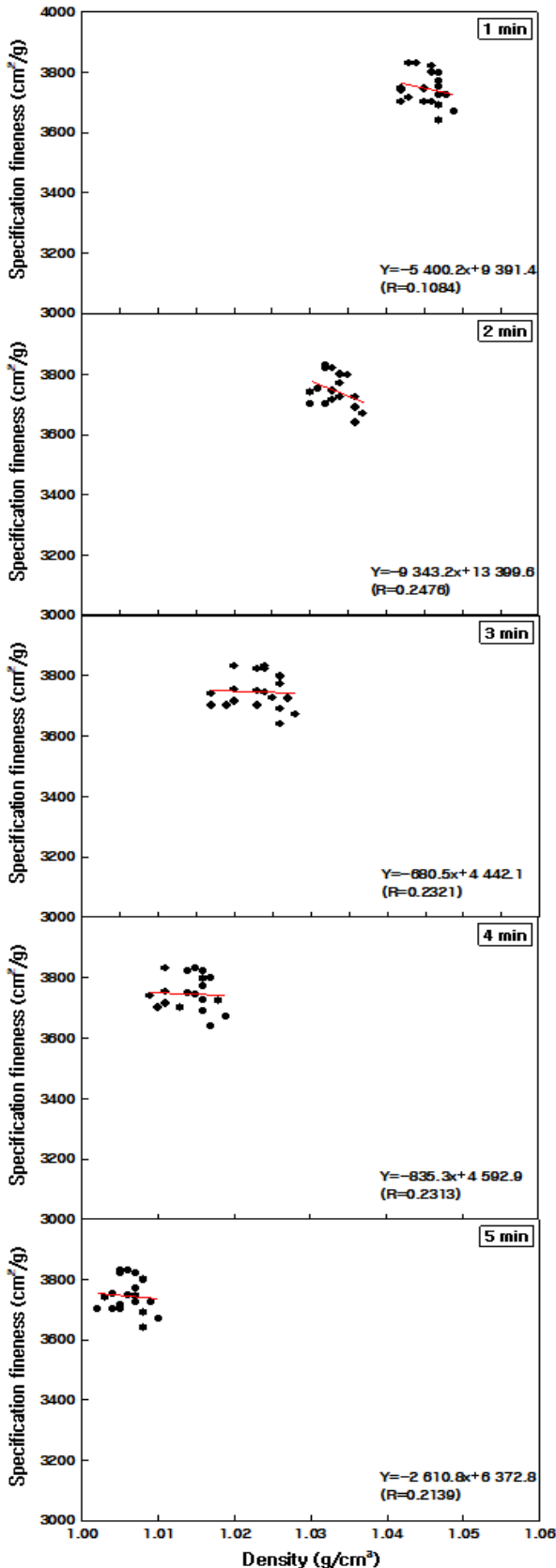


Figure 5. Relationship between density and specification fineness

5와 같이 실측 분말도와 성적서상 분말도의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 성적서상에 표기된 분말도와 실측 분말도 간에는 Figure 4의 A 및 B와 같이 구분되어 진다. 즉 A의 경우는 14회분으로 분말도 3,600~3,800cm²/g 범위에서 상호 유사한 관계를 나타낸 반면, B의 경우는 6회분으로, 성적서상 분말도는 3,600~3,800cm²/g을 나타내는 반면 실측 분말도는 3,200~3,500cm²/g을 나타내었다. 따라서 실측치는 성적서 보다 300~400cm²/g인 약 9~13% 작은 분말도를 나타내어 성적서상에 표기된 분말도는 신뢰하기 곤란한 것으로 분석된다.

3.1.2 밀도 값과 분말도의 상관관계

Table 5는 실험결과로서 성적서상에 표기된 분말도와 실측 분말도 및 액체밀도계 1~5분 밀도 값을 나타낸 표이다.

Table 6은 Table 5의 결과를 Figure 5 및 6과 같이 회귀 분석한 실험결과에 대한 데이터를 정리한 것으로 액체밀도계 밀도 값과 성적서상 및 실측 분말도의 상관관계를 나타낸 표이다.

Table 6. Regression equation obtained from the result

(1) Relationship between hydrometer density and specification fineness

y = ax + b (R)				
type	a	b	R ²	R
1 min	- 5 400.2	9 391.4	- 0.01176	0.1084
2 min	- 9 343.2	13 399.6	0.06133	0.2476
3 min	- 680.5	4 442.1	- 0.05386	0.2321
4 min	- 835.3	4 592.9	- 0.05352	0.2313
5 min	- 2 610.8	6 372.8	- 0.04577	0.2139

(2) Relationship between hydrometer density and measurement fineness

y = ax + b (R)				
type	a	b	R ²	R
1 min	585 60.9	- 576 18.3	0.42859	0.6547
2 min	759 04.3	- 74 823.8	0.66973	0.8184
3 min	54 493.2	- 52 153.2	0.96696	0.9833
4 min	59 993.9	- 57 241.6	0.93259	0.9257
5 min	81 391.6	- 78 292.0	0.83839	0.9156

OPC의 분말도가 클수록 액체밀도계 밀도값 또한 비례적으로 증가해야 하지만[7] 성적서상 분말도는 그렇지 않다.

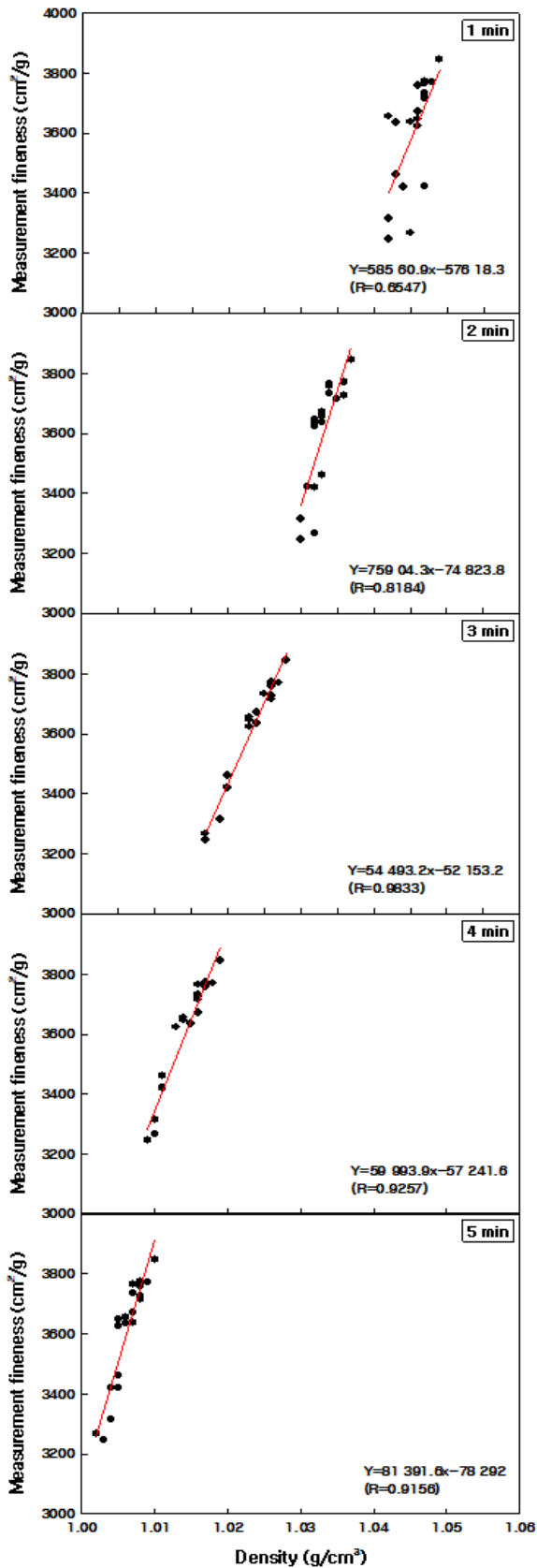


Figure 6. Relationship between density and measurement fineness

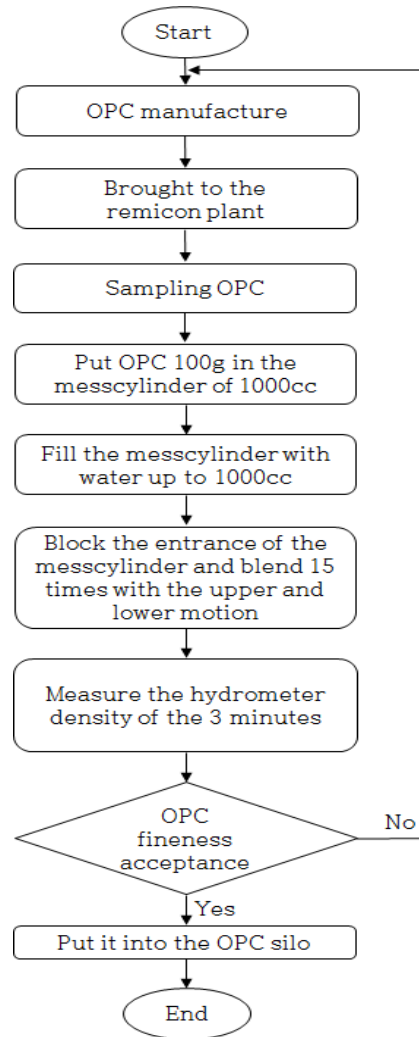


Figure 7. Flowchart of suggesting the rapid evaluation method of OPC fineness

즉, 액체밀도계 1분~5분 밀도 값과의 상관계수는 $R = 0.1084 \sim 0.2139$ 로 매우 낮은 상관성을 나타내었다. 반면 실측 분말도와 1분~5분 밀도 값의 상관계수는 $R = 0.6547 \sim 0.9833$ 으로 높은 상관성을 나타내었는데, 특히 3분 밀도 값과의 상관계수에서 $R = 0.9833$ 으로 가장 높은 상관성이 나타났다. 따라서 식 (1)과 같이 3분의 혼탁액 밀도 값과 분말도의 회귀식을 활용할 경우 액체밀도계를 사용한 OPC 분말도의 신속 품질 평가가 가능할 것으로 판단되었다.

$$y = 54.493.2x - 52.153.2 \text{ ----- (1)}$$

여기서 y : 시멘트의 분말도 (cm^2/g)

x : 액체밀도계의 3분 밀도 (g/cm^3)

그러므로 본 연구에서는 OPC 제조업체 및 OPC를 납품받

는 레미콘 측간의 신뢰성을 확보하기 위해 OPC 분말도에 관한 새로운 품질관리 방법으로써 액체밀도계를 이용한 OPC 분말도 신속 평가법을 Figure 7과 같이 제안하고자 한다.

3.2 분말도와 모르타르 특성의 상관관계 (Series 2)

3.2.1 굳지 않은 모르타르

본 실험인 시리즈 2에서는 시멘트의 분말도가 모르타르의 특성에 미치는 영향을 분석하기 위한 것이다. 먼저 굳지 않은 모르타르의 특성으로 Figure 8, 9 및 13, 14는 레미콘 공장에 입고되는 OPC 시료 20회의 성적서상 및 실측 분말도와 플로 및 공기량의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 성적서상 분말도와 플로 및 공기량은 R = 0.2335 및 0.2300으로 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다. 반면 실측 분말도의 경우는 OPC 분말도가 클수록 점성증가에 기인하여 플로는 비례적으로 증가하고, 공기량은 공극 충전 효과에 기인하여 감소함을 확인할 수 있었는데, 상관관계는 R = 0.9329 및 0.9583으로 높은 상관성을 나타내었다.

Figure 10 및 15는 성적서상 및 실측 분말도와 응결시간의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 성적서상 분말도는 초결 및 종결과의 상관관계는 R = 0.2351 및 0.2350으로 매우 낮은 상관성을 나타냈다. 반면 실측 분말도의 경우 OPC의 분말도가 클수록 수화면적이 증대되어 비례적으로 응결시간은 빨라지는 것을 확인할 수 있었는데, 초결 및 종결의 상관계수는 0.9676 및 0.9817로 매우 높은 상관성을 나타내었다.

3.2.2 경화 모르타르

경화 모르타르의 특성으로 Figure 11, 12 및 16 17은 성적서상 및 실측 분말도와 휨강도 및 압축강도의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 성적서상 분말도의 경우 재령 별 휨 및 압축강도 측정치와의 상관계수는 매우 낮은 상관성을 나타내었다. 반면, 실측 분말도의 경우는 분말도가 클수록 수화가 증대되어 강도치는 증가하였으며, 실측 분말도와 휨 및 압축 강도치와의 상관성은 0.84 이상 매우 높은 관계로 나타났다[8].

3.2.3 상관성 분석

Table 7은 Figure 8~17의 실험결과에 대한 상관분석으

로 성적서상 및 실측 분말도와 모르타르 특성 측정치간의 상관관계를 나타낸 표이다.

Table 7. Regression equation obtained from the result

1) Relationship between mortar properties value and specification fineness

y = ax + b (R)					
Type	a	b	R ²	R	
Flow	- 0.005	213.043	- 0.05452	0.2335	
Air content	- 4.136E-4	5.929	- 0.05288	0.2300	
Setting time	Initial	- 8.791E-5	5.227	- 0.05528	0.2351
	Final	- 9.562E-5	7.792	- 0.05528	0.2351
Bending strength	3 day	- 0.001	16.895	- 0.01286	0.1134
	28 day	- 6.263E-4	8.934	0.02125	0.1458
Compressive strength	3 day	0.001	25.686	- 0.03398	0.1843
	7 day	8.812E-5	32.722	- 0.05552	0.2356
28 day	- 2.369E-4	43.837	- 0.05549	0.2356	

2) Relationship between mortar properties and measurement fineness

y = ax + b (R)					
Type	a	b	R ²	R	
Flow	0.052	11.554	0.87036	0.9329	
Air content	- 0.002	13.103	0.91839	0.9583	
Setting time	Initial	- 0.002	13.858	0.93618	0.9676
	Final	- 0.002	10.761	0.96379	0.9817
Bending strength	3 day	6.289E-4	4.321	0.76827	0.8765
	28 day	0.002	2.904	0.81234	0.9013
Compressive strength	3 day	0.003	21.31	0.70776	0.8413
	7 day	0.004	18.837	0.7166	0.8465
28 day	0.009	11.334	0.93067	0.9647	

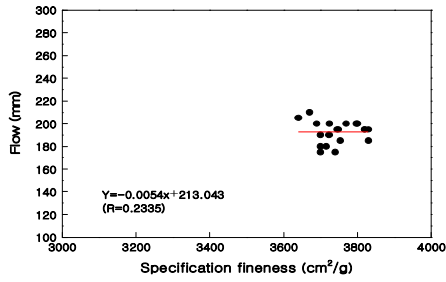


Figure 8. Correlation between specification fineness and flow

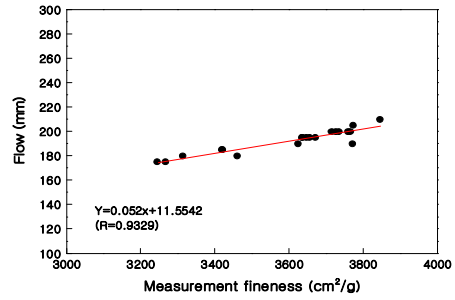


Figure 13. Correlation between measurement fineness and flow

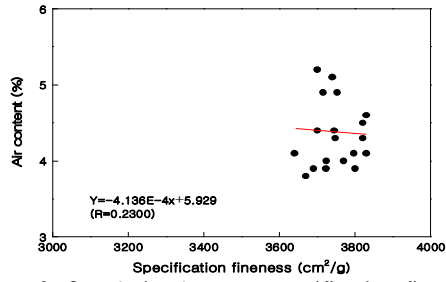


Figure 9. Correlation between specification fineness and air content

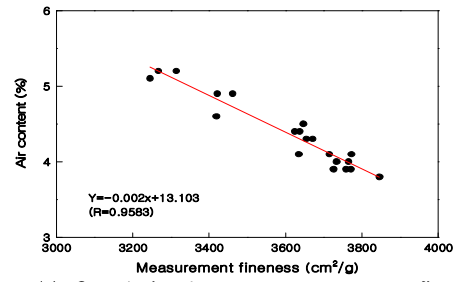


Figure 14. Correlation between measurement fineness and air content

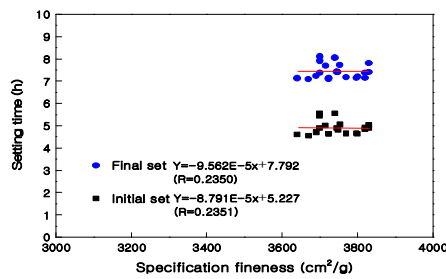


Figure 10. Correlation between specification fineness and setting time

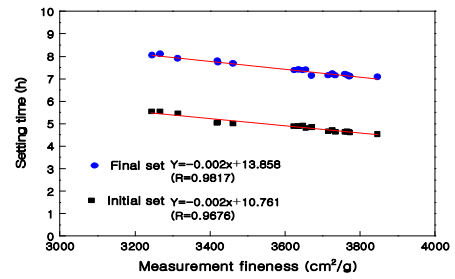


Figure 15. Correlation between measurement fineness and setting time

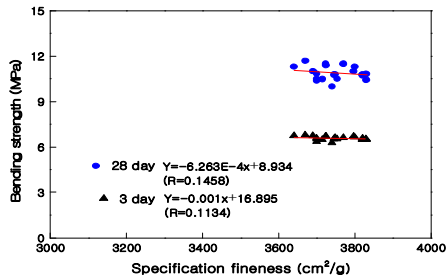


Figure 11. Correlation between specification fineness and bending strength

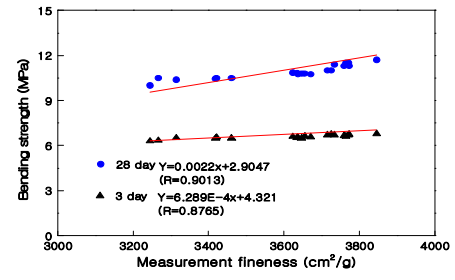


Figure 16. Correlation between measurement fineness and bending strength

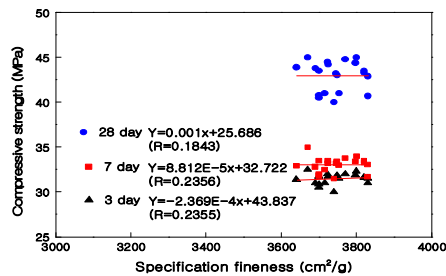


Figure 12. Correlation between specification fineness and compressive strength

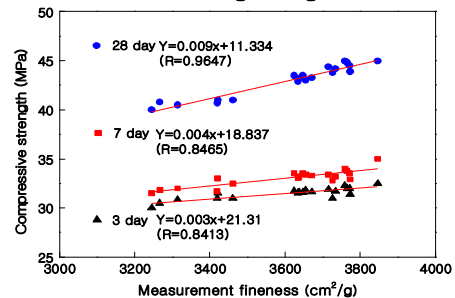


Figure 17. Correlation between measurement fineness and compressive strength

전술한 바와 같이 성적서상 분말도는 측정 주기 및 정밀도의 문제이거나, 생산 로트별 대푯값 측정결과 만을 기입하게 됨에 따라 상관성이 불량하게 나타난 것으로 추론된다. 따라서 실제 레미콘 공장에 납품되는 OPC의 경우 성적서상에 표기된 분말도의 값은 본 연구 범위 내에서 신뢰하기 어려우므로 OPC 분말도의 인수검사 시 보다 간단하고 정확한 액체 밀도계법 신속 품질관리법의 적용이 효과적일 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 레미콘 공장에 입고되는 OPC 시료 20회분을 채취하여 성적서상 분말도와 실측 분말도를 상호 비교하고, 액체밀도계법을 적용하여 OPC 분말도를 인수검사 시 신속하게 추정할 수 있을지 분석 하고자 하였다. 또한, OPC 분말도 변화가 모르타르 기초적 특성에 미치는 영향에 대하여도 상관성을 분석 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) OPC의 성적서상 분말도와 실측 분말도간에는 매우 낮은 상관관계를 나타내었다. 즉, 성적서상 분말도는 $3\ 690\sim 3\ 830\text{cm}^2/\text{g}$ 으로 미미한 차이의 분말도를 나타냈지만, 실측 분말도는 $3\ 245\sim 3\ 846\text{cm}^2/\text{g}$ 으로 넓은 분포를 보였다. 따라서 성적서상에 표기된 OPC 분말도의 신뢰성에는 의문이 제기되었다.
- 2) 액체밀도계 1~5분 밀도 값과 OPC 분말도간의 상관성 분석에서 성적서상 분말도는 낮은 상관성을 나타낸 반면, 실측 분말도는 매우 높은 상관성을 나타내었는데, 이때 액체밀도계 3분 밀도 값으로 OPC 분말도를 추정할 경우 신속품질평가의 가능성을 확인하였다.
- 3) 우리나라 실무조건에서 OPC 분말도와 모르타르의 특성간의 상관관계로 먼저 굳지 않은 상태에서 플로, 공기량 및 응결시간의 경우 성적서상 분말도와는 상관성이 거의 없는 반면 실측 분말도와는 분말도가 클수록 큰 유동성, 적은 공기량 및 빠른 응결시간으로 0.93 이상의 높은 상관성을 확인할 수 있었다.
- 4) 경화 상태의 휨 강도 및 압축강도는 성적서상 분말도와는 상관성이 매우 낮은 반면 실측 분말도와의 상관성은 분말도가 클수록 큰 강도로 0.84 이상의 높은 상관성을 확인할 수 있었다.

종합적으로 OPC의 분말도는 인수 검사 시 본 연구에서 제안된 Figure 7의 액체밀도계법을 활용할 경우 신속 추정이 가능하고, 또한 정확한 분말도 판단은 모르타르 콘크리트의 유동성, 공기량, 응결시간 및 강도 등에 어떻게 영향이 미치게 되는지를 파악할수 있으므로 품질관리에 효율적으로 대응할 수 있을 것이다.

요 약

본 연구에서는 실제 레미콘 공장에 납품되는 OPC 20회분의 시료를 채취하여 성적서상 분말도와 실측 분말도 간의 상관성을 분석하고, 아울러 종전에 연구된 액체밀도계법 밀도 값과 OPC 분말도간의 상관성을 분석하므로써 시멘트 분말도 신속 추정 가능성을 평가 하고자 하였다. 또한 납품된 시멘트 시료를 이용하여 시멘트 모르타르 상태에서 유동성, 공기량, 강도 등 제반 기초적 특성과 성적서 및 실측 분말도와의 상관성을 분석하고자 하였다. 실험결과 성적서상 OPC 분말도와 실측 분말도는 매우 낮은 상관성을 나타내었다. 또한, 액체밀도계 밀도 값과 OPC 분말도간의 상관성은 성적서상 분말도는 매우 낮은 상관성을 나타낸 반면, 실측 분말도는 매우 높은 상관성을 나타내었다. 이때 액체밀도계 3분 밀도 값과 OPC 분말도가 가장 높은 상관성을 나타내었는데, 그 회귀식을 활용할 경우 액체밀도계를 사용한 OPC 분말도의 신속 품질 평가가 가능할 것으로 판단되었다. 또한, OPC 분말도와 모르타르 특성치의 상관관계로서 성적서상 분말도의 경우는 상관성이 거의 없는 반면 OPC 분말도가 클수록 유동성, 공기량, 응결시간 및 강도치는 모두 높은 상관성이 나타남을 확인할 수 있었다.

키워드 : 보통 포틀랜드 시멘트, 분말도, 액체밀도계, 인수 검사, 레미콘 공장

References

1. Korean Agency for Technology and Standards, KS F 4009 Ready-Mixed Concrete. 2016. 2 p.
2. Lee JJ, Kim, MS, Moon BR, Lee JH, Han MC, Han CG, Influence of the blaine fineness in the certificate of analysis from manufacturer on fresh properties of cement mortar, Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2017 Nov 11; Grand Hotel, Andong, Korea, Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2015.

-
- p. 441–2.
3. Han CG. Study on the early estimation of concrete strength [Dissertation]. [Seoul (Korea)]: Chungnam National University; 1988. 251 p.
 4. Song HH, Han CG. Analysis of evaluation possibility of fly ash fineness using hydrometer. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2017 Apr;17(2):119–25.
 5. Joo EH, Han CG. Feasibility analysis of rapid quality evaluation method for blast furnace slag using hydrometer. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*. 2018 Mar;6(1):43–9.
 6. Lee JJ, Hyeon SY, Moon BR, Kim YT, Han MC, Han CG. The effect of solution variables and numbers of cylinders spinning in the rapid evaluation of cement powder by hydrometer method. *Proceedings of the Korea Concrete Institute*; 2017 May 5; Phoenix Island, Jeju, Korea, Seoul (Korea); Korea Concrete Institute; 2017. p. 127–36.
 7. Moon BR, Baek C, Lee JJ, Kim YT, Han MC, Han CG. Quality evaluation possibility analysis of fineness OPC by hydrometer. *Proceedings of the Korea Concrete Institute*; 2016 Nov 11; Daemyungresort, Goseong, Korea, Seoul (Korea); Korea Concrete Institute; 2016. p. 575–6.
 8. Lee JJ, Kim MS, Moon BR, Kim YT, Han MC, Han CG. Influence of various powder of OPC received in concrete plant on strength characteristics of cured mortar. *Proceedings of the Korea institute of building construction*; 2017 Nov 11; Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea, Seoul (Korea); The Korea institute of building construction; 2017. p. 167–8.