

콘크리트 품질관리를 위한 단위수량 측정 기법의 적용성에 관한 실험적 연구

김용로^{1)*} · 최일호¹⁾ · 정양희¹⁾ · 이도범¹⁾

¹⁾대림산업(주) 기술연구소 건축연구지원팀

An Experimental Study on the Application of Measuring Method of Water Content for Quality Control of Concrete

Yong-Ro Kim^{1)*}, Il-Ho Choi¹⁾, Yang-Hee Jung¹⁾, and Do-Bum Lee¹⁾

¹⁾Architectural Research and Engineering of Technology Research Institute,
Daelim Industrial Co., Ltd., Seoul 110-732, Korea

ABSTRACT Recently, the concern on the receipt of poor ready-mixed concrete in the construction field and the durability of concrete has been increased. Based on the such background, a large number of measuring methods of water content for fresh concrete have been developed and enforced in a developed country. In this study, to investigate practicality for quality control of ready-mixed concrete among various water content measurement techniques, microwave range method, air meter method and capacitance measurement method as measuring methods of water content were selected. Then, it was evaluated estimating performance of water content according to the change of binder types, fine aggregate types, absorption ratio, water content and water-binder ratio in series I and II. Also, it was examined influence on error occurrence of water content according to change of properties of used materials in series III. Finally, based on this study, it was proposed fundamental data to utilize measurement technique of water content to quality control of ready-mixed concrete in construction field.

Keywords water content, quality control, microwave range method, air meter method, capacitance measurement method

1. 서 론

콘크리트 배합 요인 중 단위수량은 굳지 않은 콘크리트의 시공성 뿐만 아니라 경화 콘크리트의 압축강도, 수축균열 및 내구성 등에 커다란 영향을 미치는 요인으로서 콘크리트 품질관리에 있어서 상당히 중요시되는 부분이다^{1,3)}.

더욱이 최근 콘크리트 구조물의 내구성 문제가 크게 대두되고, 콘크리트 구조물의 장수명화가 요구됨에 따라 단위수량 관리의 중요성은 더욱 부각되고 있는 실정이다.

이러한 배경에서 일본의 경우에는 레미콘의 품질관리와 콘크리트의 강도 및 내구성을 보증하기 위한 평가 방법으로서 1980년대부터 굳지 않은 콘크리트의 단위수량을 신속하게 평가할 수 있는 기법을 개발하기 위한 연구를 지속적으로 수행하고 있으며, 이와 같은 연구 개발을 통해 현재 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 기법으로서 가열건조법, 단위용적질량법, RI법, 정전용량법, 원심분리법 및 시약을 이용한 방법 등 다양한 기법이 개

발되어 건설 현장에서의 실용화를 도모하고 있다^{1,2,5-13)}.

이와 같은 다수의 단위수량 측정 기법은 각각 측정의 정밀성, 간편성 및 소요 시간 등에 있어 장·단점이 있으며, 측정 기법의 적용에 있어서도 활용 용도에 따라 각기 다른 기법이 선정될 수 있기 때문에 다양한 단위수량 측정 기법의 종류에 따른 특성을 검토하여 정리할 필요가 있다.

한편, 국내의 경우에는 이와 같이 다양한 단위수량 측정 기법 중 가열건조법의 일종인 전자레인지법을 활용하여 콘크리트 품질관리 기법으로서의 적용성을 검토한 연구가 보고된 바 있으나 아직까지 다종 다양한 단위수량 측정 기법을 비교·평가함으로써 측정 기법 종류에 따른 적용성 검토는 이루어지지 않은 실정이다¹⁵⁾.

따라서, 본 연구에서는 현재 국내·외에서 연구 개발되어 적용을 도모하고 있는 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 기법 중 기존 기술 개발 자료에 관한 문헌적 검토에 의해 정밀성, 경제성 및 측정의 간편성 등을 고려하여 실제 건설 생산 현장에서의 레미콘 입수 검사시 적용이 가능할 것으로 판단되는 단위수량 측정 기법을 선정한 후, 단위수량 측정 기법 종류에 따른 콘크리트

*Corresponding author E-mail : kyr8447@daelim.co.kr
Received September 13, 2006, Accepted February 28, 2007
©2007 by Korea Concrete Institute

Table 1 Experimental program

Series	Measuring method of unit water content	Material for experiment	Experimental factors & levels		Measuring items
			Factors	Levels	
I	<ul style="list-style-type: none"> • Microwave range method • Air meter method • Capacitance measurement method 	Mortar	<ul style="list-style-type: none"> • Binder types • Fine aggregate types • Contained water ratio of fine aggregate • Unit water contents 	<ul style="list-style-type: none"> • OPC, OPC + FA, OPC + BFS, OPC + FA + BFS • Sea Sand, Crushed Sand • 0.0%, 1.25%, 5.0% • 160 kg/m³, 175 kg/m³, 190 kg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> • Flow (mm) • Air content (%) • Unit water content (kg/m³) • Compressive strength (MPa) -7, 28days
II	<ul style="list-style-type: none"> • Air meter method • Capacitance measurement method 	Concrete	<ul style="list-style-type: none"> • Water-cement ratio • Unit water contents 	<ul style="list-style-type: none"> • 35%, 45%, 55% • 150 kg/m³, 170 kg/m³, 190 kg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> • Slump (cm) • Air content (%) • Unit weight (kg/m³) • Unit water Content (kg/m³) • Compressive strength (MPa) -3, 7, 28days • Length change • Carbonation depth (mm) -7, 14, 28days
III			<ul style="list-style-type: none"> • Density of used materials 	<ul style="list-style-type: none"> • Cement : ±0.05 g/cm³ • Aggregate : ±0.05 g/cm³ 	<ul style="list-style-type: none"> • Unit water content (kg/m³)

품질관리를 위한 적용성을 검토 및 분석함으로써 향후 건설 생산 현장에서 단위수량 측정 기법을 활용한 굳지 않은 콘크리트의 품질관리 기법을 구축하기 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

본 연구에서는 실험 계획을 나타낸 Table 1에서 보는 바와 같이 콘크리트 품질관리를 위한 단위수량 측정 기법의 적용성을 평가하기 위하여 총 3개의 시리즈로 실험을 구성하였다.

시리즈 I에서는 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 기법을 고주파가열법(이하, 전자레인지법), 단위용적질량법(이하, 에어메터법) 및 정전용량법의 3수준으로 설정한 후, 단위수량 측정 기법의 기본 성능을 검토하기 위하여 모르타르 시료를 대상으로 하여 결합재 종류를 7수준, 잔골재 종류를 2수준, 잔골재 함수율을 3수준, 단위수량을 3수준으로 설정하였다.

또한, 측정 항목으로서 굳지 않은 모르타르의 경우 플로우, 공기량, 단위용적 질량 및 단위수량을 측정하였으며, 경화 모르타르는 재령 7, 28일의 압축강도를 측정하였다.

시리즈 II에서는 단위수량 측정 기법으로서 정전용량법 및 에어메터법의 2수준을 설정한 후, 콘크리트 시료에서의 적용성을 검토하기 위하여 물시멘트비를 35, 45 및 55%의 3수준, 단위수량을 150, 170 및 190 kg/m³의 3수준으로 설정하였다.

또한, 측정 항목으로서 굳지 않은 콘크리트의 경우 슬럼프, 공기량, 단위용적 질량 및 단위수량을 측정하였으며, 경화 콘크리트의 경우 재령 3, 7, 28일의 압축강도와 길이 변화율, 축진 중성화 시험을 실시하였다.

한편, 시리즈 III에서는 정전용량법 및 에어메터법에 있어서 시멘트, 골재 등 사용 재료의 물성 변화가 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정에 미치는 영향성을 검토하기 위하여 사용 재료로서 시멘트 및 골재의 밀도를 ±0.05 g/cm³의 범위로 변화시켜 단위수량을 추정하였다.

2.2 모르타르 및 콘크리트 배합

본 연구의 시리즈 I에서는 Table 2에서 보는 바와 같이 콘크리트 시료를 웨트스크리닝(wet-screening) 하는 것으로 가정하여 콘크리트 배합을 설정한 후, 굵은골재를 제외한 [] 부분을 모르타르 배합으로 적용하였으며, W/B 55%, 잔골재율 43%, 단위수량 175 kg/m³를 플레인 배합으로 하여 결합재 종류 및 대체율, 잔골재 종류 및 함수율 변화, 단위수량 변화 등에 따라 배합을 변경하였다.

한편, 잔골재 함수율의 변화를 고려하지 않았을 경우의 단위수량 추정치의 변화를 검토하기 위하여 함수율 0% 및 5%의 잔골재를 사용하는 경우에도 표면수율을 고려하지 않고 플레인 배합을 그대로 적용하였다.

또한, 시리즈 II 및 III에서는 Table 3에 나타낸 바와 같이 시리즈 II의 경우 물시멘트비 35, 45 및 55%에서 단위수량을 각각 150, 170 및 190 kg/m³의 3수준, 잔골재율은 43%로 고정하였으며, 시리즈 II에서는 물시멘트비 55%, 단위수량 170 kg/m³의 수준에서 시멘트 및 골재 등 사용 재료의 밀도 변화에 따른 단위수량 측정의 영향성을 평가하였다.

또한, 모든 배합에서 목표 슬럼프를 18±2.5 cm로 설정한 후, 목표 슬럼프를 만족시키기 위해 소정의 고성능 AE감수제를 첨가하였다.

2.3 사용 재료

본 연구에서 사용한 재료의 물리적 성질은 Table 4에서

Table 2 Mix proportion of mortar (series I)

Mix ID	W/B (%)	s/a (%)	Re. ratio of FA (%)	Re. ratio of BFS (%)	Water content (kg/m ³)	Absolute volume (l/m ³)					Unit weight (kg/m ³)				
						C	FA	BFS	S	G	C	FA	BFS	S	G
PLAIN	55.0	43.0	0	0	175	101	0	0	298	396	318	0	0	779	1,048
FA5	55.0	43.0	5	0	175	96	8	0	297	394	302	16	0	776	1,044
FA10	55.0	43.0	10	0	175	91	15	0	296	393	286	32	0	773	1,041
BS10	55.0	43.0	0	10	175	91	0	11	298	395	286	0	32	778	1,047
BS20	55.0	43.0	0	20	175	81	0	21	298	395	255	0	64	778	1,047
F5B10	55.0	43.0	5	10	175	86	8	11	297	394	270	16	32	775	1,044
F5B20	55.0	43.0	5	20	175	76	8	21	297	394	238	16	64	775	1,043
CS	55.0	43.0	0	0	175	101	0	0	298	396	318	0	0	779	1,048
A0	55.0	43.0	0	0	175	101	0	0	298	396	318	0	0	779	1,048
A5	55.0	43.0	0	0	175	101	0	0	298	396	318	0	0	779	1,048
W160	50.3	43.0	0	0	160	101	0	0	305	404	318	0	0	796	1,071
W190	59.7	43.0	0	0	190	101	0	0	292	387	318	0	0	762	1,026

Table 3 Mix proportion of concrete (series II and III)

Series	W/C (%)	Target slump (cm)	s/a (%)	Water content (kg/m ³)	Absolute volume (l/m ³)			Unit weight (kg/m ³)			HWRA (%)
					Cement	Sand	Gravel	Cement	Sand	Gravel	
II	35.0	18±2.5	43.0	150	136	290	384	429	753	1,018	0.8
			43.0	170	154	273	362	486	711	960	0.6
			43.0	190	172	257	341	543	668	903	0.4
	45.0		43.0	150	106	303	401	333	787	1,064	0.7
			43.0	170	120	288	382	378	749	1,012	0.5
			43.0	190	134	273	362	422	711	961	0.3
	55.0		43.0	150	87	311	412	273	809	1,093	0.7
			43.0	170	98	298	394	309	774	1,045	0.5
			43.0	190	110	284	376	345	738	997	0.3
III	55.0		43.0	170	98	298	394	309	774	1,045	0.5

보는 바와 같이 시리즈I의 경우 시멘트는 밀도 3.15 g/cm³의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 혼화제는 밀도 2.12 g/cm³, 분말도 2,976 cm²/g의 플라이애쉬와 밀도 2.99 g/cm³, 분말도 4,379 cm²/g의 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 또한, 잔골재는 표건밀도 2.61 g/cm³, 흡수율 1.25%의 바다모래 및 표건밀도 2.61 g/cm³, 흡수율 1.40%의 부순모래를 사용하였다.

한편, 시리즈II, III의 경우 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 골재로서 잔골재는 표건밀도 2.60 g/cm³, 흡수율을 1.30%의 바다모래, 굵은골재는 표건밀도 2.65 g/cm³, 실적률 62.52%의 부순 자갈을 사용하였다.

2.4 시험 방법

Table 5는 본 연구에서의 시험 방법을 나타낸 것으로서, 시리즈I의 경우 모르타르의 플로우, 공기량 및 압축강도, 시리즈II, III의 경우 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 단위용적 질량, 경화 콘크리트의 압축강도, 길이 변화율 및 축진 증성화 시험에 의한 증성화 깊이를 측정하였다.

또한, 본 연구에서 적용한 굳지 않은 콘크리트의 단위

수량 측정 기법으로서 전자레인지법, 에어메터법 및 정전용량법의 시험 방법을 간략히 정리하면 다음과 같다.

2.4.1 전자레인지법^{1,2,5,8,10)}

콘크리트로부터 웨트스크리닝한 모르타르를 Fig. 1(a)와 같은 전자레인지로 가열 건조시켜 증발되는 수분량으로부터 단위수량을 추정하는 방법으로서, 건조 전·후 질량의 차이와 잔골재 및 혼화제에 포함된 고형분을 보정하는 식 (1)을 활용하여 단위수량을 추정하였다.

$$W_e = (M_1 - M_2) - X_1 + X_2 \frac{W_u + C_u + S_u}{M_1} \quad (1)$$

여기서, W_e : 단위수량의 추정치 (kg/m³)

M_1 : 건조 전 시료의 질량 (g)

M_2 : 건조 후 시료의 질량 (g)

X_1 : 잔골재의 흡수분 보정량 (g)

X_2 : 혼화제 고형분 보정량 (g)

W_u : 배합상의 단위수량 (kg/m³)

C_u : 배합상의 단위시멘트량 (kg/m³)

S_u : 배합상의 단위잔골재량 (kg/m³)

Table 4 Physical properties of used materials

Series	Used material	Physical properties
I	Cement	• Ordinary portland cement (density : 3.15 g/cm ³)
	Mineral admixture	• Fly-ash (density : 2.12 g/cm ³ , blaine : 2,976 cm ² /g) • Ground granulated blast furnace slag (density : 2.99 g/cm ³ , blaine : 4,379 cm ² /g)
	Fine aggregate	• Sea sand (density : 2.61g/cm ³ , absorption ratio : 1.25%) • Crushed sand (density : 2.61g/cm ³ , absorption ratio : 1.40%)
II III	Cement	• Ordinary portland cement (density : 3.15g/cm ³)
	Fine aggregate	• Sea sand (density : 2.60g/cm ³ , absorption ratio : 1.30%)
	Coarse aggregate	• Crushed stone (density : 2.65g/cm ³ , solid content : 62.52%)

Table 5 Testing method of mortar and concrete

Series	Measuring items	Testing method
I	Mortar flow	KS L 5105
	Air content	KS F 2421
	Compressive strength	KS L 5105
II	Slump	KS F 2402
	Air content	KS F 2421
	Unit weight	KS F 2409
III	Compressive strength	KS F 2405
	Length change ratio	KS F 2424
	Carbonation depth	Temp. 20, R.H. 50%, CO ₂ 5%

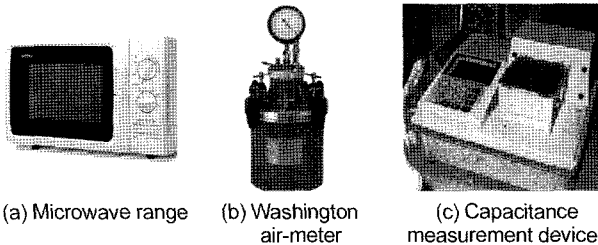


Fig. 1 Measuring device of water content

2.4.2 에어메터법^{1,2,11,12,14}

콘크리트 중에서 물의 밀도는 시멘트나 골재에 비해 작기 때문에 콘크리트 중의 수량 변화에 따라 콘크리트의 단위용적 질량은 크게 변화한다는 원리를 이용하여, 콘크리트 배합상의 단위용적 질량과 Fig. 1(b)에 나타난 것과 같은 워싱턴 에어메터에 채워 넣은 콘크리트 시료의 단위용적 질량의 차이로부터 단위수량을 추정하며, 본 연구에서는 단위수량 추정식으로서 식 (2)를 적용하였다.

$$W = W_1 + W_2$$

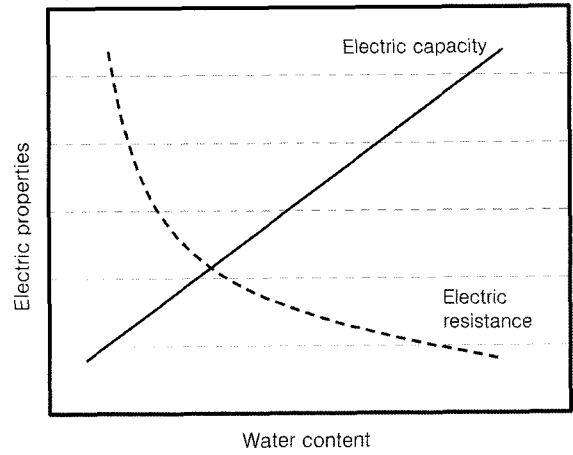


Fig. 2 Relationship between water content and electric properties

$$W_2 = \frac{\{M_1(1 - (A + \alpha) \times 0.01) - M_2\}}{(1 - M_1 \times 0.001)} \quad (2)$$

여기서, W : 단위수량의 추정치 (kg/m³)
 W_1 : 배합상의 단위수량 (kg/m³)
 W_2 : 단위수량 오차 (kg/m³)
 M_1 : 콘크리트 시료의 단위용적 질량 (kg/m³)
 M_2 : 배합상의 단위용적 질량 (kg/m³)
 A : 배합상의 공기량 (%)
 α : 용적감소계수 (%)
 (단위시멘트량 100 kg/m³ 당 0.1%)

2.4.3 정전용량법^{1,2,6,9,13,17}

정전용량법에 의한 단위수량 측정은 물질 고유의 정전용량이 수분량에 따라 변화하는 것을 이용하여 단위수량을 추정하는 방법으로서, 시료에 고주파 전압을 가했을 경우 물의 유전율이 다른 재료에 비해 상당히 높다는 원리를 이용한다. 시험 방법은 Fig. 1(c)와 같은 전용 기기를 사용하며, 물의 양과 정전용량 및 전기저항 사이에는 Fig. 2와 같은 관계가 있다는 점을 활용하여 검량선으로부터 콘크리트의 단위수량을 추정한다.

3. 실험 결과 검토 및 분석

3.1 단위수량 측정 기법별 측정 정밀성 평가 실험 결과 (시리즈 I)

3.1.1 모르타르 플로우 및 공기량

모르타르의 플로우 및 공기량은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 결합재 종류에 따른 플로우의 경우 유의할 만한 경향은 나타나지 않았으며, 공기량의 경우 플라이애쉬를 혼합함으로써 공기량은 다소 감소하고, 고로슬래그 미분말을 혼합한 경우 공기량이 다소 증가되는 것으로 나타났다.

또한, 잔골재 종류에 있어서는 부순모래의 경우 바다모래를 사용한 플레인 모르타르에 비해 플로우 및 공기량이 다소 낮게 나타났다. 한편, 잔골재 함수율 및 단위

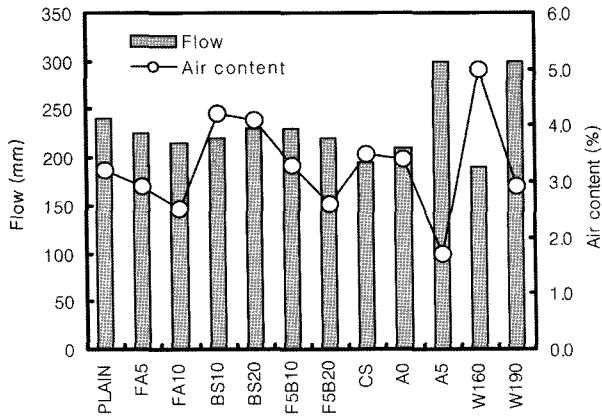


Fig. 3 Variation of mortar flow and air content

수량에 따른 플로우 및 공기량의 경우 함수율 및 단위 수량이 높을수록 모르타르 플로는 증가되고, 공기량은 감소하는 것으로 나타났다.

이는 모르타르 시험시 시험 요인에 따라 고성능 AE 감수제 첨가율을 변화시키지 않고 동일하게 첨가함으로써 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말의 공기량 차이가 발생한 것으로 판단되며, 또한 부순모래의 경우 상대적으로 입형 및 함수율 등의 품질이 낮기 때문에 상기와 같은 결과를 나타낸 것으로 사료된다.

3.1.2 단위수량 측정 결과

결합재 종류, 잔골재 종류 및 함수율, 단위수량 변화에 따른 단위수량 추정 결과를 나타낸 Fig. 4에서 보는 바와 같이 측정 기법 종류에 관계없이 단위수량의 변화 경향을 반영할 수 있는 것으로 나타났으며, 특히 전자레인지법 및 정전용량법의 경우 설계 단위수량과 유사한 수준으로 단위수량을 추정할 수 있는 것으로 나타났다.

또한, Fig. 5는 식 (3)에 의해 산출한 측정 기법별 단위수량 추정 오차를 나타낸 것으로서 전자레인지법의 경우 최대 17%, 에어미터법의 경우 최대 30%, 정전용량법의 경우 최대 11%의 수준으로 나타나 본 연구에서 적용한 단위수량 측정 기법 중에서는 정전용량법의 정밀도가 가장 양호한 것으로 나타났다.

$$\text{추정 오차 (\%)} = \frac{\text{설계 수량} - \text{추정 수량}}{\text{설계 수량}} \times 100 \quad (3)$$

한편, 전자레인지법의 경우 추정 단위수량이 설계 단위수량보다 작아 단위수량 추정 오차가 모두 (-)측으로 발생하는 것으로 나타났으며, 에어미터법의 경우 굵은골재를 제외한 모르타르를 대상으로 적용을 하여 단위수량 추정 오차가 다소 크게 나타난 것으로 판단된다.

또한, 배합 요인에 따른 단위수량 추정 오차에 있어서 결합재 종류, 잔골재 종류 및 단위수량 변화에 따른 유의할만한 경향은 나타나지 않아 배합 변화에 관계없이 단위수량 측정 기법의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

그러나, 잔골재 함수율 변화에 따른 단위수량 추정 오차의 경우 정밀성이 저하되는 것으로 나타나 단위수량

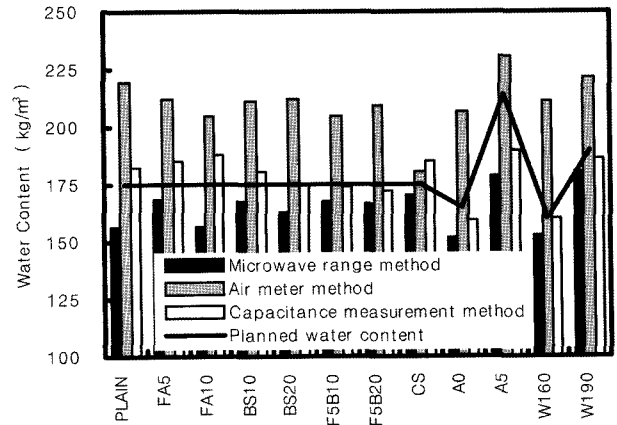


Fig. 4 Variation of estimated water content

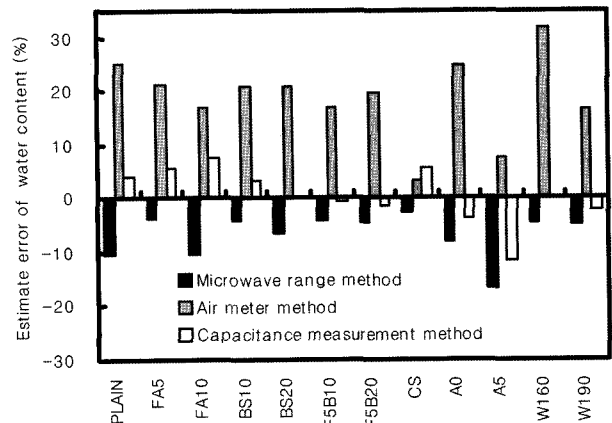


Fig. 5 Estimate error of water content

측정기법의 현장 적용시 골재의 표면수율 등 사용 재료의 물성 관리가 중요할 것으로 판단된다.

또한, 단위수량 측정 기법의 측정 시간의 경우 본 연구의 범위에서는 전자레인지법이 약 35분, 에어미터법 및 정전용량법의 경우 약 5분 정도가 소요되는 것으로 나타나 전자레인지법의 경우 건설 생산 현장에서의 레미콘 입수 검사를 위한 품질관리 기법으로 적용하는 것은 다소 곤란한 것으로 판단되었다.

3.1.3 모르타르 압축강도

Fig. 6은 결합재 종류, 잔골재 종류 및 함수율, 단위수량 변화에 따른 경화 모르타르의 압축강도 측정 결과를 나타낸 것으로서 결합재 종류에 따른 압축강도의 경우 플라이애쉬를 혼입한 시험체에 비해 고로슬래그 미분말을 혼입한 시험체의 압축강도가 높게 발현되는 것으로 나타났으며, 잔골재 종류의 경우 부순모래를 사용한 시험체가 바다모래에 비해 다소 높은 압축강도를 나타내고 있어 기존의 연구 결과와 유사한 결과를 확인할 수 있었다.

또한, 잔골재 함수율에 따른 압축강도의 경우 잔골재 함수율이 낮은 골재를 사용할수록 압축강도는 증가되는 경향을 보이고 있으며, 단위수량에 따른 압축강도의 경우에도 단위수량이 증가할수록 압축강도는 다소 저하되는 것으로 나타났다.

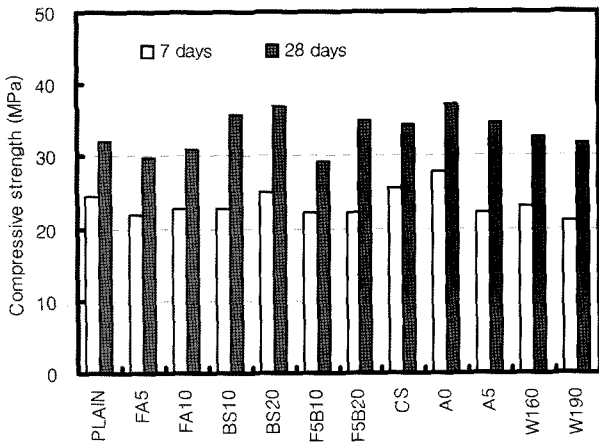


Fig. 6 Variation of compressive strength

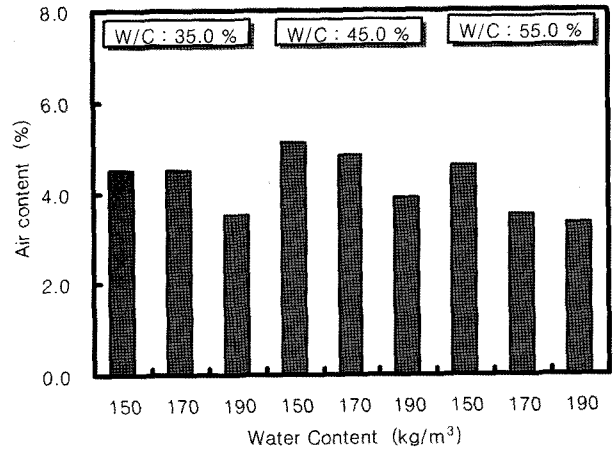


Fig. 8 Variation of air content of concrete

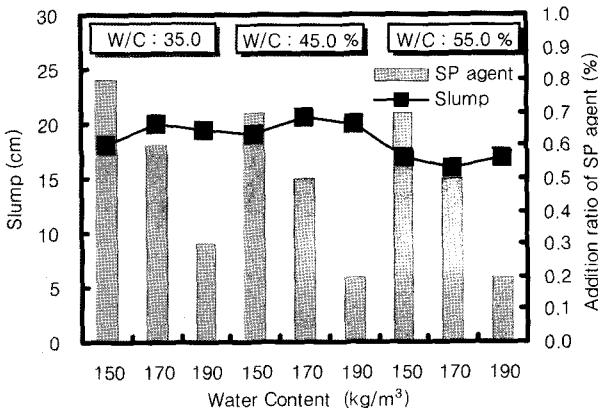


Fig. 7 Variation of addition ratio of SP agent

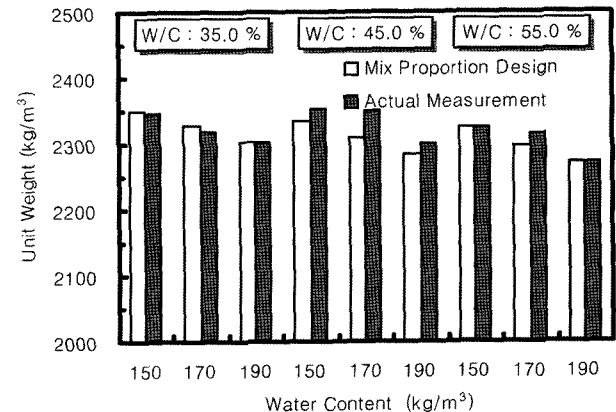


Fig. 9 Variation of unit weight of concrete

이와 같은 결과는 레미콘 플랜트에서 골재의 표면수율을 적절히 고려하지 않고, 함수율의 차이를 반영하지 않고 관리하게 될 경우 콘크리트의 수량 관리가 이루어지지 않아 결과적으로 콘크리트 구조물의 압축강도 저하를 초래할 가능성을 시사하는 것으로서 레미콘 입수 검사시 정량적인 단위수량 관리의 필요성이 있을 것으로 사료된다.

3.2 콘크리트 품질관리를 위한 단위수량 측정 기법의 적용성 평가 시험 결과 (II, III 시리즈)

3.2.1 굳지 않은 콘크리트의 기초 물성

Fig. 7은 물시멘트비 및 단위수량 변화에 따른 목표 슬럼프 18 ± 2.5 cm를 만족시키기 위한 고성능 감수제 첨가율의 변화를 나타낸 것으로서 물시멘트비가 높아질수록 고성능 감수제의 첨가율이 감소되는 경향을 보이고 있으며, 물시멘트비에 관계없이 단위수량이 증가할수록 고성능 감수제 첨가율은 감소하는 경향을 보이고 있다.

본 실험에서 동일 물시멘트비에 있어서 단위수량만을 증가시키게 되면 고성능 AE 감수제 첨가율이 감소되는 것으로 나타나, 실제 건설 현장에서 배합설계시의 슬럼프에 비해 다소 높은 유동성을 요구할 경우 레미콘 플랜트에서 이에 대응하기 위해 경제성 등을 고려하여 고

성능감수제의 첨가보다는 단위수량의 증가로 대응할 가능성이 클 것으로 예상되며, 이를 관리하기 위한 콘크리트의 단위수량 관리가 필요할 것으로 판단된다.

또한, Fig. 8은 물시멘트비 및 단위수량에 따른 공기량의 변화를 나타낸 것으로서 물시멘트비에 따른 유의할만한 경향은 보이지 않고 있으나, 물시멘트비에 관계없이 단위수량이 증가할수록 공기량은 감소하는 경향이 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 단위수량의 증가에 따라 고성능 AE 감수제 첨가율이 감소하였기 때문에 연행되는 공기량이 감소되었기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 9는 물시멘트비 및 단위수량에 따른 배합설계상의 단위용적 질량과 실측 단위용적 질량의 변화를 나타낸 것으로서 배합설계상의 단위용적 질량 및 실측치 모두 물시멘트비가 높고 단위수량이 증가할수록 콘크리트의 단위용적 질량은 감소하는 것으로 나타났다.

3.2.2 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 결과

Fig. 10은 물시멘트비 및 단위수량에 따른 단위수량 측정 기법별 단위수량 측정 결과를 나타낸 것으로서, 본 실험에 적용한 정전용량법 및 에어미터법은 모두 단위수량의 변동 경향을 재현할 수 있는 것으로 나타났다.

물시멘트비에 따른 측정 정밀성에 있어서는 물시멘트

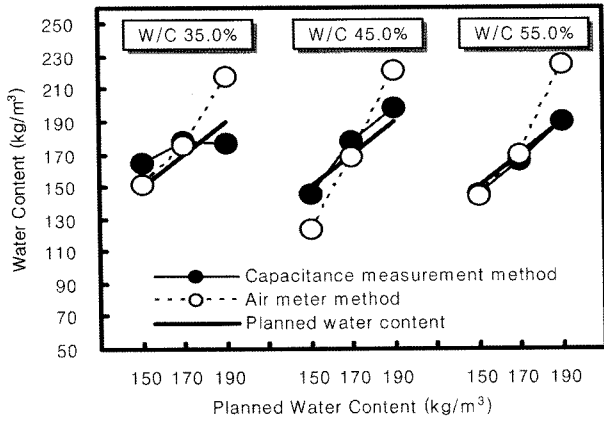


Fig. 10 Estimated water content of concrete with W/C and water content

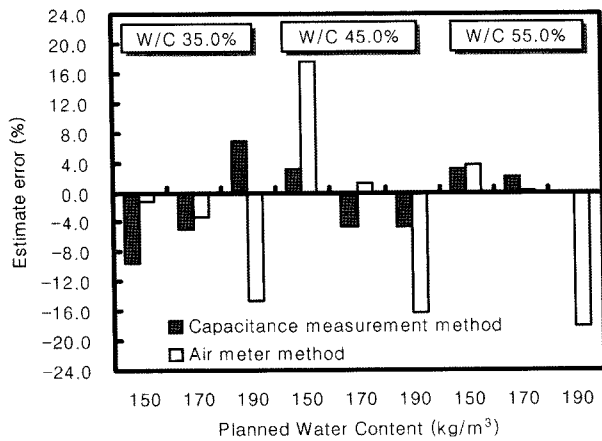


Fig. 11 Estimate error of water content

비 45% 및 55%의 경우 정전용량법이 에어미터법에 비해 설계 단위수량을 정밀하게 추정할 수 있었으며, 물시멘트비 35%의 경우에는 다소 편차는 있으나 에어미터법이 정전용량법에 비해 단위수량 추정 정밀도가 높은 것으로 나타났다.

또한, Fig. 11은 물시멘트비 및 단위수량에 따른 단위수량 측정 기법별 단위수량 추정 오차를 나타낸 것으로서 본 실험의 범위에서는 정전용량법이 에어미터법에 비해 전반적으로 우수한 단위수량 추정 정밀성을 갖는 것으로 나타났다.

한편, 본 실험의 범위에서 정전용량법의 경우 물시멘트비가 낮아질수록 추정오차가 증가되는 것으로 나타났으며, 이는 정전용량법의 측정 방법에 있어서 콘크리트의 웨트스크리닝이 필요하고, 이때 낮은 물시멘트비에서는 점성이 높기 때문에 웨트스크리닝 효율이 저하되어 오차가 증가되는 것으로 판단된다.

이에 따라 건설 생산 현장에서 정전용량법에 의한 단위수량 측정 기법을 활용하기 위해서는 낮은 물시멘트비의 콘크리트에 대하여 웨트스크리닝의 효율을 높일 수 있는 방법을 적용할 필요가 있을 것으로 사료된다.

또한, 에어미터법의 경우 정전용량법에 비해 단위수량 추정 오차가 크게 발생한 것은 에어미터법의 측정 원리

에 있어서 사용 재료의 밀도가 콘크리트의 단위용적 질량에 큰 영향을 미치게 되므로, 사용 재료의 물성 변동 및 시료 채취의 오차에 따른 영향을 크게 받는 것으로 판단되며, 건설 생산 현장에서 에어미터법의 적용을 위해서는 레미콘 플랜트 및 품질관리자 측면에서 사용 재료에 관한 철저한 품질관리가 필요할 것으로 판단된다.

3.2.3 사용 재료 물성 변화의 영향성 검토

Fig. 12는 단위수량 측정 기법별 시멘트, 잔골재 및 굵은골재의 밀도 변화에 따른 단위수량 추정 편차를 나타낸 것으로서 사용 재료의 종류에 관계없이 에어미터법의 경우 정전용량법에 비해 밀도의 변화에 따른 단위수량 추정 편차가 크게 발생하는 것으로 나타났다.

이는 에어미터법의 경우 콘크리트 배합상의 단위용적 질량과 실측한 단위용적 질량의 관계로부터 단위수량을 추정하는 원리를 적용하기 때문에 시료의 단위용적 질량에 직접적으로 영향을 미치게 되는 사용 재료의 밀도에 커다란 영향을 받게 되는 것으로 판단된다.

또한, Fig. 13은 사용 재료 종류별 단위수량 추정 편차의 발생 정도를 나타낸 것으로서 단위수량 측정 기법 종류에 관계없이 콘크리트 배합 중 용적을 가장 많이 차지하고 있는 굵은골재의 밀도 변화가 단위수량 추정 편차에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났다.

이상과 같이 사용 재료의 물성 변화에 따른 콘크리트 단위수량 추정 편차의 발생 정도를 검토한 결과 에어미터법의 경우에는 측정 원리에 기인하여 사용재료 물성 변화에 의해 상당한 단위수량 추정 편차가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 한편, 현재 국내 건설 생산 현장 및 레미콘 플랜트에서의 사용 재료에 관한 품질관리가 체계적으로 이루어지고 있다고 보기는 어려운 실정므로 향후 에어미터법의 적용을 위해서는 체계적으로 사용 재료의 품질관리를 실시하기 위한 방안의 정립이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

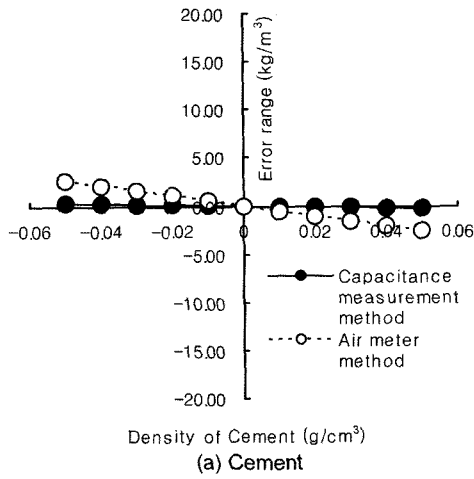
3.2.4 물시멘트비 및 단위수량에 따른 압축강도

Fig. 14는 물시멘트비 및 단위수량에 따른 경화 콘크리트의 압축강도 변화를 나타낸 것으로서 물시멘트비에 따른 압축강도에 있어서는 물시멘트비가 높아질수록 압축강도는 저하하는 경향이 나타났다.

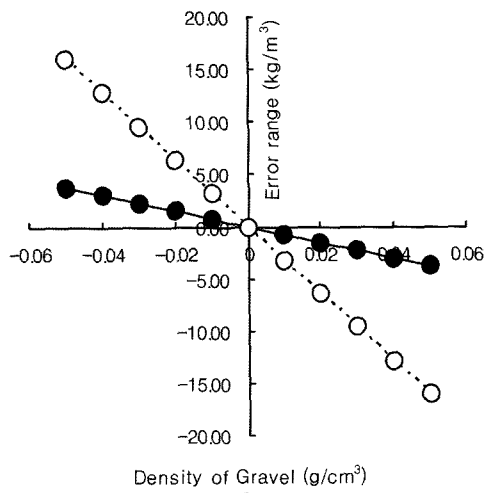
또한, 단위수량에 따른 압축강도에 있어서는 단위수량이 증가할수록 압축강도가 다소 낮아지는 경향을 보이고 있으나, 동일 물시멘트비에 있어서는 큰 차이는 보이지 않고 있어 압축강도의 발현에는 물시멘트비의 영향이 큰 것을 확인할 수 있었다.

3.2.5 물시멘트비 및 단위수량에 따른 길이변화율

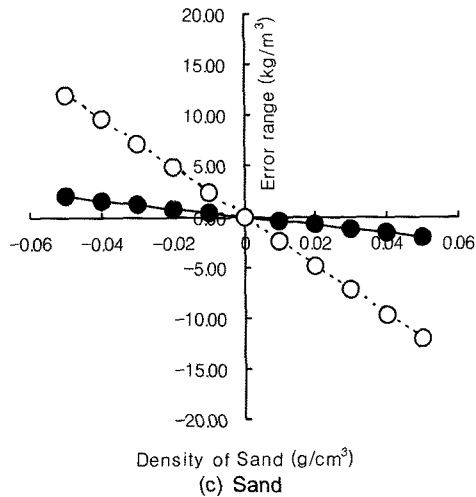
Fig. 15는 물시멘트비 및 단위수량에 따른 길이변화율의 변화를 나타낸 것으로서 길이변화율은 물시멘트비가 낮아질수록 단위시멘트량이 증가되어 크게 되는 경향을 보이고 있으며, 이는 낮은 물시멘트비의 경우 높은 물시



(a) Cement



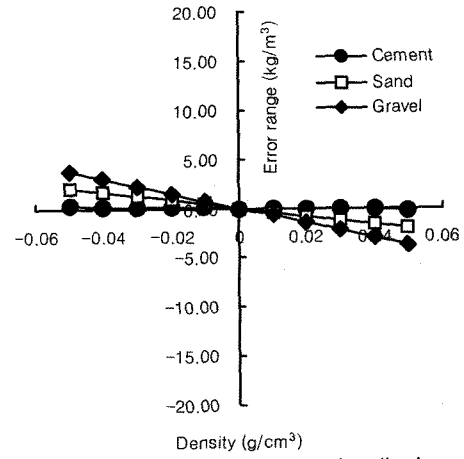
(b) Gravel



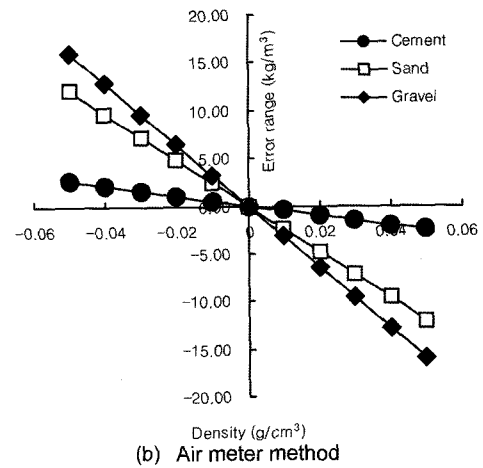
(c) Sand

Fig. 12 Error range according to the change of density of used materials

멘트비에 비해 자기수축 및 건조수축의 영향이 함께 나타났기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 단위수량이 증가할수록 길이변화율도 증가하는 것으로 나타나 건설 현장에서 유동성을 증가시키기 위해 단위수량을 증가시킬 경우 건조수축에 의한 균열이 증가될 것으로 예상되며, 건설 현장에서의 단위수량 관리가 압축강도의 보증뿐만 아니라 건조수축에 의한 균열 및 내구성을 확보하기 위한 측면에서 그 중요성이 있을 것으로 사료된다.



(a) Capacitance measurement method



(b) Air meter method

Fig. 13 Error range according to the kind of used materials

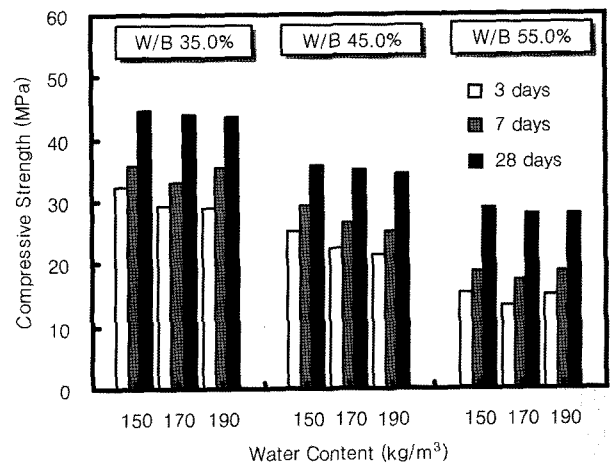


Fig. 14 Variation of compressive strength with W/C and water content

3.2.6 물시멘트비 및 단위수량에 따른 중성화 특성

Fig. 16은 물시멘트비 및 단위수량별 중성화 촉진 계령에 따른 중성화 깊이의 측정 결과를 나타낸 것으로서 물시멘트비가 높아질수록 중성화 깊이는 증가하는 경향을 보이고 있고, 단위수량이 증가할수록 중성화 깊이도 증가하는 것으로 나타났으며, 이와 같은 단위수량의 영향은 콘크리트의 물시멘트비가 높을수록 더욱 현저한 것으로 나타났다.

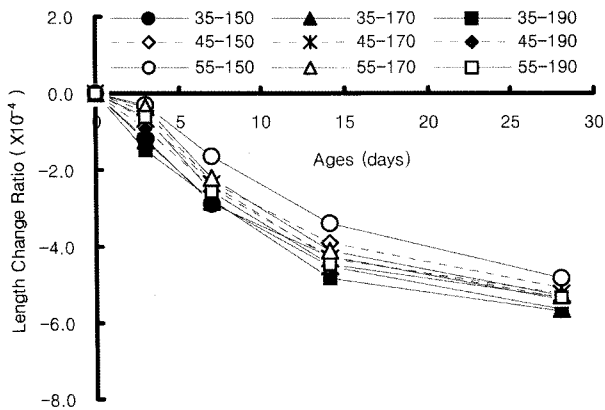


Fig. 15 Variation of length change ratio with ages

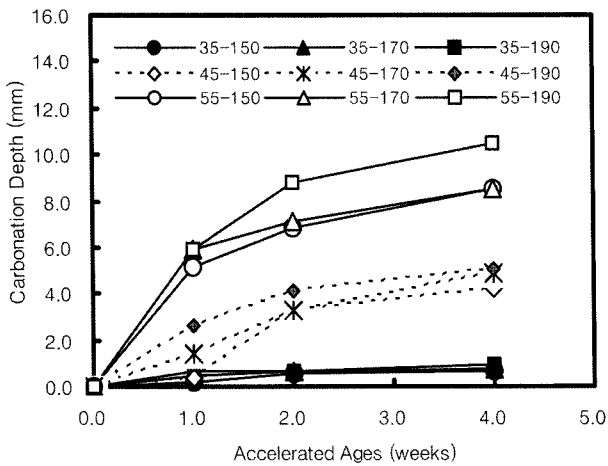


Fig. 16 Variation of carbonation depth with accelerated ages

이와 같은 시험 결과는 단위수량이 증가할수록 중성화 저하성 등 콘크리트의 내구성이 저하되는 문제점을 시사하는 것으로서 레미콘 공장에서의 단위수량 관리가 압축강도의 보증뿐만 아니라 콘크리트 구조물의 장수명화를 위한 내구성의 확보 측면에서도 상당한 중요성이 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

국내 건설 생산 현장에서 콘크리트 품질관리를 위한 단위수량 측정 기법 종류별 적용성을 실험·실증적으로 검토 및 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 본 연구에서 검토한 단위수량 측정 기법은 단위수량의 변화 경향을 반영할 수 있는 것으로 나타났으며, 전자레인지법 및 정전용량법의 경우 단위수량 추정 정밀도가 양호하게 나타났다.
- 2) 단위수량 측정 기법 중 전자레인지법의 경우 정전용량법과 유사한 수준으로 단위수량 추정 성능은 양호하였으나, 측정 시간이 약 30분 이상 소요되어 건설 생산 현장에서의 레미콘 입수 검사를 위한 품질관리 기법으로서의 적용에는 한계가 있을 것으로 사료된다.

- 3) 콘크리트 적용성 평가 시험으로서 단위수량 측정 기법 중 측정 소요시간이 짧은 정전용량법 및 에어메터법의 적용성을 평가한 결과 측정의 정밀성, 측정 소요 시간 및 안정성 등의 측면에서 본 연구의 범위에서는 정전용량법의 현장 적용성이 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.
- 4) 정전용량법의 경우 낮은 물시멘트비에서는 윌스크리닝의 편차에 기인한 단위수량 추정오차가 발생하는 것으로 나타나 윌스크리닝의 효율성 증진을 위한 기법 적용이 필요할 것으로 판단되며, 에어메터법의 경우 사용 재료 물성 변화에 따른 영향이 크게 나타나 현장 적용시 사용 재료의 철저한 품질관리가 필요할 것으로 판단된다.
- 5) 콘크리트의 단위수량 변화에 따른 길이변화율 및 중성화 깊이의 평가 결과 동일 물시멘트비에 있어서도 단위수량의 영향이 크게 나타나 건설 현장에서 압축강도의 보증뿐만 아니라 고품질의 콘크리트 구조물의 구축하기 위해서는 콘크리트 품질관리를 위한 기법으로서 단위수량 관리가 유효할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 日本コンクリート工學協會,フレッシュコンクリートの單位水量迅速測定及び管理システム調査研究委員會報告書, 2004, 6.
2. 日本建築學會 材料施工委員會 콘크리트試驗法小委員會, 콘크리트의試驗方法に関するシンポジウム報告集, 2003, 11.
3. 김용로, 정양희, 최일호, 김효락, 이도범, “굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 기술 개발 및 활용 현황”, 콘크리트학회지, Vol.17, No.5, 2005, pp.58-64.
4. 김용로, 정양희, 최일호, 이도범, “굳지 않은 콘크리트 단위수량 측정기법의 정밀성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 2005, 10, pp.113-116.
5. 友澤 史紀ほか, 高周波加熱装置を用いたフレッシュコンクリートの單位水量簡易迅速試験法の開発, 日本建築學會構造系論文報告集, 第400号, 1989, 6, pp.1-7.
6. 沓掛文夫ほか, “沓電容量型水分計によるフレッシュコンクリートの單位水量推定”, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.20, No.2, 1998, pp.307-312.
7. 立松和彦ほか, “実施工時におけるフレッシュコンクリートの單位水量管理結果およびその考察”, 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.21, No.2, 1999, pp.367-372.
8. 辻本 一志ほか,フレッシュコンクリートの高周波乾燥法による單位水量の迅速測定に関する基礎実験, 日本建築學會學術講演梗概集, 2000, 9, pp.141-142.
9. 千歩 修, 浜 幸雄ほか, “靜電容量式水分計によるフレッシュコンクリートの單位水量管理方法の検討”, 日本コンクリート工學協會年次論文集, 2001, pp.331-336.
10. 加藤淳司ほか, 高周波加熱乾燥法による單位水量推定値に及ぼすウェットスクリーニング手法の影響, 日本建築學會年次大會梗概集, 2002, 9, pp.949-950.
11. 袴谷秀幸ほか, 單位容積質量法による單位水量測定の測

- 定精度に関する研究, 日本建築學會年次大會梗概集, 2003, 9, pp.617~620.
12. 和田高清 ほか, 単位容積質量法による単位水量測定の測定精度に関する研究, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004, 9, pp.249~252.
 13. 立山創一 ほか, 静電容量法による単位水量の測定結果, 日本建築學會年次大會梗概集, 2004, 9, pp.595~596.
 14. 株式会社マルイ, 迅速生コンの単位水量計 W-Checker 技術資料, 株式会社マルイ, 2003, 11.
 15. 한천구 외, “고주파 가열건조법에 의한 굳지않은 콘크리트의 단위수량 추정에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, Vol.22, No.1, 2004, pp.115~122.
 16. 日本國土交通省, レディミクストコンクリ単ト單位水量測定要領(案), 日本國土交通省, 2004, 3.
 17. ケット科學, 生コン單位水量測定器 HI-300/330 技術資料, ケット科學, 2005, 6.
 18. 배수호, 정영수, 박광수, 이준구, “콘크리트용 혼화재의 특성에 관한 실험적 연구”, 콘크리트학회지, Vol.11, No.2, 1999, pp.115~125.
 19. 김무한 외, “부순모래를 대량 활용한 모르타르의 성능 향상에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, Vol.17, No1, 2005, pp.121~124.

요 약 최근 건설 생산 현장에서 불량 레미콘의 반입 문제 및 콘크리트 구조물의 내구성 확보가 커다란 관심사로 대두되고 있으며, 이에 따라 일본 등의 선진 외국에서는 레미콘의 품질보증 및 관리를 위하여 다양한 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 기법이 개발되어 표준화를 도모하고 있다. 본 연구에서는 현재 국내·외에서 연구 개발되어 적용을 도모하고 있는 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 기법 중 실제 건설 생산 현장에서의 레미콘 입수검사시 적용이 가능할 것으로 판단되는 전자레인지법, 에어메터법 및 정전용량법을 선정 한 후 I, II 시리즈에서는 결합재 종류, 잔 골재 종류 및 함수율, 단위수량, 물결합재비에 따른 단위수량 추정 성능을 평가하였으며, III 시리즈에서는 사용 재료의 물성 변화가 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 추정 오차 발생에 미치는 영향을 검토하였다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 본 연구에서는 건설 생산 현장에서 레미콘의 품질관리에 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 측정 기법을 실용화하기 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

핵심용어 : 단위수량, 품질관리, 전자레인지법, 에어메터법, 정전용량법