

규정 이상의 회수수를 사용한 콘크리트의 내구성 및 강도 특성

양은익^{1)*}·박진호¹⁾·김강래¹⁾·조규재²⁾

¹⁾강릉대학교 토목공학과 ²⁾(주)우일건설

(2005년 6월 20일 원고접수, 2006년 1월 16일 심사완료)

Durability and Strength Characteristics of Concrete Using Sludge Water above Specification

Eun-Ik Yang^{1)*}, Jin-Ho Park¹⁾, Kang-Rea Kim¹⁾, and Gyou-Jea Jo²⁾

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Kangnung National University, Kangnung, Korea

²⁾Woo-il Inc., Kangnung, Korea

(Received June 20, 2005, Accepted January 16, 2006)

ABSTRACT

Recently, The sludge water of ready mixed concrete has been investigated because of environmental pollution and disposal cost. So, sludge water is partially reused as mixing water. However, if sludge water is reused too much that would influence the quality of concrete. KS specification limits the amount of sludge content up to 3% of cement weight. In this study, the effect of ready mixed concrete sludge on the characteristics of concrete is compared to raise the reuse ratio of sludge of ready mixed concrete. According to this experiment results, as blending ratio of re-mi-con sludge increases, workability is decreases. However, the sludge of ready mixed concrete water have a positive effect on the strength development. The drying shrinkage and the resistance of freezing and thawing have a minor effect.

Keywords : sludge water, workability, strength, drying shrinkage, freezing and thawing

1. 서 론

최근 현장에서는 구조물의 규모 증가와 공기 단축의 이유로 대량의 레미콘(ready mixed concrete)을 공장에서 생산, 공급하고 있다. 레미콘의 생산이 대량화 되는 만큼 운반차, 플랜트의 믹서, 호퍼 등에 부착된 콘크리트의 세척을 위하여 쓰이는 세척배수 또한 대량으로 사용되고 있는 것이 현실이다. 하지만 이것은 많은 물의 낭비일 뿐만 아니라 강알칼리 특성을 지니고 있어 회석하지 않고 강이나 하천에 방류시 환경문제를 야기 시킬 수 있다.

우리나라의 경우에는 골재를 회수하고, 상징수는 세차용에, 슬러지수는 비빔용수로 이용하는 전면회수 방법이 주로 이용되고 있다¹⁾. 레미콘의 제조공정에서 혼입률을 높일 경우 처리비용이 절감될 뿐만 아니라 많은 자원문제 해결에도 도움을 줄 수 있을 것이다. 하지만 안전성의 이유로 국내에서는 「한국 콘크리트 규준 KS 4009」에서 슬러지 고형분의 혼입률을 3% 이하로 제한하고 있다.

이에, 국내에서는 회수수 재사용량을 높이기 위한, 많은 연구가 진행되고 있으며^{2,3)}, 슬러지 고형성분의 혼입률 허용치를 4% 이하로 수정 제안하는 연구가 보고되고 있다⁴⁾.

하지만 현장 조사 결과 국내 레미콘 제조회사의 경우, 슬러지 고형분이 보통 5% ± 1정도로 발생되고 있으며 이것을 직접 배합수로 사용하였을 경우 시간적, 경제적으로 많은 효과를 얻을 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 규정 이상의 회수수 사용을 독려하기 위하여 이러한 회수수를 사용한 콘크리트의 내구성 및 역학적 특성을 검토하였다.

2. 실험 개요

2.1 사용 재료 및 배합

레미콘 슬러지 혼입률에 따른 콘크리트 특성의 변화를 조사하기 위하여 실시한 본 실험의 콘크리트의 제조를 위한 시멘트는 S사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 강릉시 연곡하천 자연사, 굵은골재는 강릉 안인 진리의 쇄석($G_{max} = 25$ mm)을 사용하였다(Table 1). 콘크

* Corresponding author

E-mail : eiyang@kangnung.ac.kr

©2006 by Korea Concrete Institute

Table 1 Physical properties of aggregate

Type	Item	Specific gravity	Absorption	F.M.
Sand		2.59	1.01	2.65
Gravel		2.78	0.62	6.80

Table 2 Mix proportion concrete

W/C	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				AE(%)	SP(%)
		W	C	S	G		
40%	43	170	425	716	1022	0.01	0.5
50%	45	172.5	345	776	1021	0.005	0.3
60%	46	172.5	288	815	1030	0.01	0.4

Table 3 Test variables

Item	Content	Detail
W/C	Blending ratio of sludge of ready mixed concrete	40, 50, 60%
Curing period		7, 28, 91 days
Blending ratio		0, 3, 5, 8%

Table 4 KS F4009

(1) Quality : Test the quality of recycling water be used of test method of KS specification. And it show the lower part.
Item
Cl ⁻
difference of setting time of cement
Compressive strength ratio
(2) Limites of sludge contents : The amount of sludge not exceed 3 % of cement weight. But when proportioning of ready mixed concrete, sludge content not include weight of water.

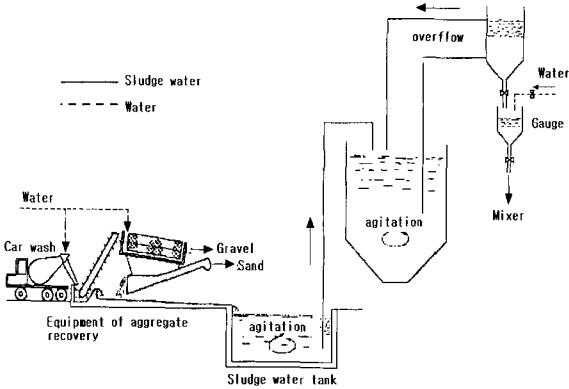
리트 배합비의 목표슬럼프는 10 ± 2 cm로, 공기량은 혼화제를 첨가하여 $5.0 \pm 1.0\%$ 를 만족하도록 하였다. 실험에 사용한 배합을 정리하여 나타내면 Table 2와 같다.

2.2 실험 변수

슬러지 혼입률에 따른 역학적 특성과 내구성을 파악하기 위하여 실시한 본 실험은 W/C 비와 양생 재령, 슬러지 고형성분 혼입률을 변수로 하였다. W/C 비의 경우, 40, 50, 60%의 경우에 대하여 실험하였고, 양생재령은 7일, 28일, 91일로 하였다. 투입한 혼화제는 AE제와 SP제를 사용하였으며 그 양은 기준배합과 동일하게 하였다. 한편 슬러지 고형성분 혼입률은 시멘트 중량의 0, 3, 5, 8%로 혼입비율을 달리하였으며, 슬러지 고형성분의 적절한 혼입률을 검토하고자 하였다. 실험변수를 정리하면 Table 3과 같다.

2.3 실험 방법

본 실험은 ASTM C 114에 따라 염화물 이온의 농도를

**Fig. 1** Flow chart

측정하였다. 또한 배합수에 함유된 슬러지 고형성분이 시멘트의 수화에 미치는 영향의 저오를 조사하고 슬러지 고형성분의 혼입률을 정하기위해서 모르타르 실험을 실시하였다. 모르타르 실험은 W/C 55%로 하여 시멘트 중량 당 0, 3, 5, 8%의 슬러지 고형성분을 혼입하여 배합에 사용하였으며, 플로우 값 및 압축강도를 측정하였다.

콘크리트의 기초 특성 파악이 끝난 후 본 실험은 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성을 파악을 위하여 두 가지로 나누어 실험을 실시하였다. 우선 슬러지 혼입률에 따른 품질검사를 위해 슬럼프(KS F 2402) 및 공기량 측정(KS F 2421)과 재령 7, 28, 91일에 대하여 압축강도(KS F 2405), 인장강도(KS F 2423)를 측정하였다. 건조수축은 KS F 2453에 따라 $100 \times 100 \times 400$ mm 각주 시험체를 사용하였으며 시험체 양측면에 측정을 위한 측정점을 각각 250 mm 간격으로 설치하고 demec gage(최소눈금=1 μm)를 사용하여 계획된 재령에서의 길이변화를 측정하였다. 재령 91일까지의 수축량을 20 ± 1 °C, 습도 $60 \pm 3\%$ 의 항온항습실에서 측정하였다. 두 번째로 콘크리트의 내구성 검토를 위해 동결융해(KS F 2456)에 대한 실험을 실시하였다. 강도 실험의 경우에는 $\phi 100 \times 200$ mm 원주 공시체를 사용하였으며 동결융해 실험에는 $100 \times 100 \times 400$ mm 각주 시험체를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 회수수 중 염소이온 농도

KS F 4009의 회수수 관련 규정을 Table 4에 나타내었다. KS F 4009를 만족하기 위한 염소이온 농도는 120 ppm으로 규정치 150ppm보다 적은 것으로 나타났다.

3.2 모르타르 강도

슬러지 고형성분의 혼입에 따른 기초 물성을 검토하여

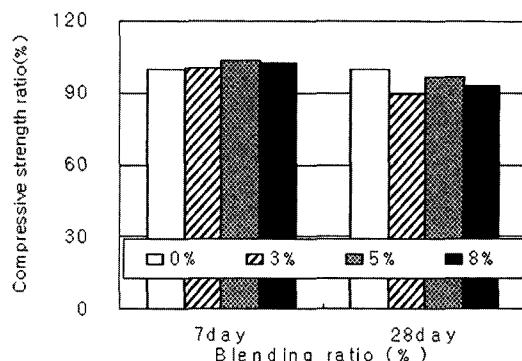
Table 5 Slump flow value of mortars

	0	3	5	8
Flow (mm)	212	210	198	191
Percentage (%)	113	111.4	99.7	92.2

Table 6 Compressive strength of mortars (unit: MPa)

Sludge content (%)	0	3	5	8
7day	29.8	30.0	30.9	30.5
28day	40.2	36.1	38.8	37.4

슬러지 혼입비율의 범위를 결정하기 위하여 모르타르의 플로우와 강도특성을 비교하였다. 이에 따른 실험 결과를 Tables 5, 6에 나타내었다. Fig. 2에는 「KS F 4009(레디믹스트 콘크리트)」의 부속서 2에 의한 규정으로 슬러지 고형성분의 혼입에 따른 압축강도비가 90%를 만족하는지 그래프로 나타내었다. Table 5에 따르면 모르타르의 플로우는 슬러지 혼입률 3%까지는 표준범위 내에 있으나, 혼입률 5%이상이 되면 플로우치가 떨어지는 경향을 보였다. 이에 비해 Table 6, Fig. 2에 따르면, 슬러지 혼입률에 따

**Fig. 2** Relative strength ratio with blending ratio

른 모르타르 압축강도의 영향은 적은 것으로 보인다.

3.2 굳지 않은 콘크리트의 성질

굳지 않은 콘크리트의 특성을 조사하기 위하여 슬러지 혼입률에 따른 슬럼프와 공기량을 Table 7에 나타내었다.

Table 7 Slump and air content of fresh concretes

W/C	Blending ratio	0 %		3 %		5 %		8 %	
		Slump (cm)	Air content (%)						
40 %	40 %	11.1	4.4	7.4	3.6	4.8	3.2	2.5	2.9
50 %	40 %	10.6	5.6	4.6	3.8	1.8	3.1	2.6	3.1
60 %	40 %	12.0	5.5	13.2	6	10.8	5.0	9.4	5.1

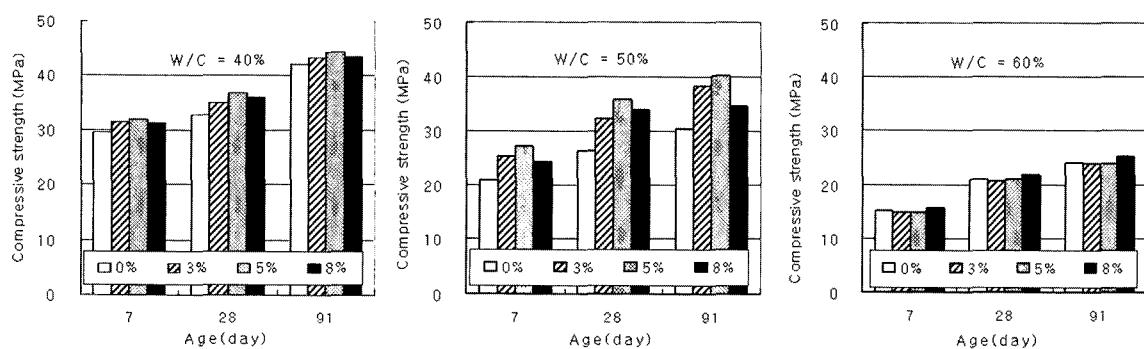
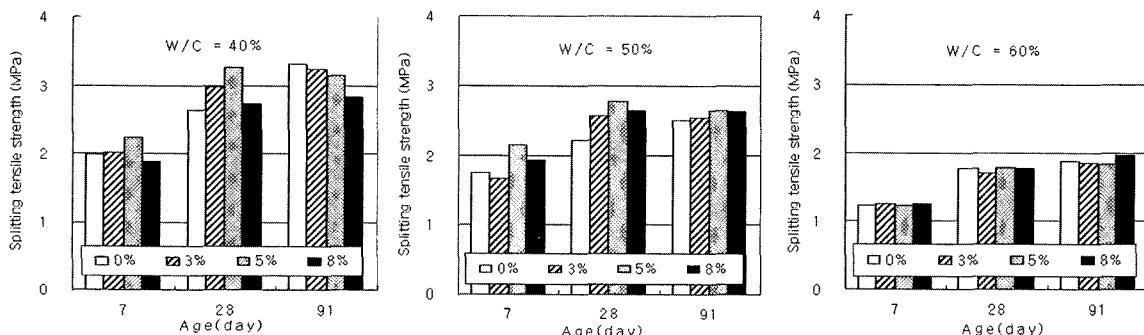
**Fig. 3** Comparison on compressive strength**Fig. 4** Comparison on split tensile strength

Table 8 Percentage of strength development(unit : %)

W/C	40 %				50 %				60 %				
	Blending ratio	0 %	3 %	5 %	8 %	0 %	3 %	5 %	8 %	0 %	3 %	5 %	8 %
Compressive	28day	111	111	115	115	125	127	131	139	138	140	141	140
	91day	141	137	139	139	144	151	147	143	159	161	162	163
Tension	28day	132	147	146	144	127	154	129	137	145	137	145	141
	91day	167	160	140	149	143	152	123	137	154	147	150	156

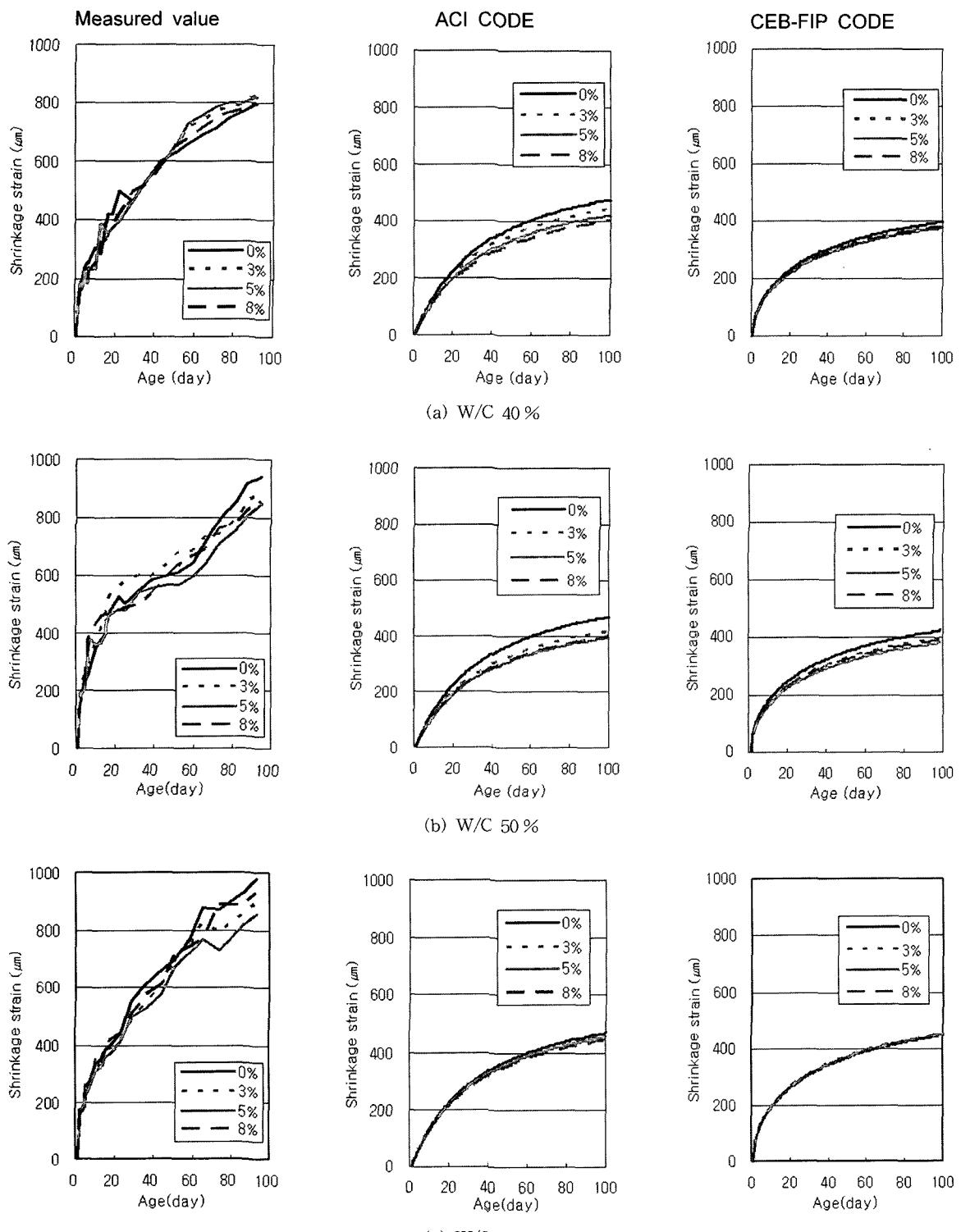


Fig. 5 Relation between shrinkage and time

동일한 양의 혼화제(AE제, SP제)를 투입하였으나, W/C의 비율이 상대적으로 낮은 40%, 50%에서는 슬러지 혼입률을 증가시킬수록 콘크리트의 작업성이 급격히 떨어지는 경향을 보이고 있으며, W/C가 상대적으로 높은 60%의 경우에는 슬러지의 영향이 크지 않은 것으로 측정되었다. 이는 슬러지 고형분에 달랑의 미립분이 포함되어 있으나 그 영향이 W/C 60%에서는 상대적으로 작았던 것으로 판단된다.

3.3 콘크리트 강도 및 건조수축

3.3.1 압축·인장 강도

슬러지 고형성분의 혼입률에 따른 콘크리트 압축강도와 인장강도를 알아보기 위하여 슬러지 고형성분의 혼입률에 따른 강도변화를 재령 7, 28, 91일에서 각각 측정을 하였으며, W/C 별로 구분하여 Figs 3, 4의 결과를 얻었다. Table 8에는 슬러지 혼입률에 따른 기준 배합과의 강도발현 비율을 검토하기 위하여 각 경우의 재령 7일 압축강도를 기준으로 하여 재령 28일과 91일의 강도발현을 비율로 나타내었다. 결과에 따르면 압축강도의 경우, W/C의 비율이 상대적으로 적은 W/C 40%와 50%에서 슬러지 고형

성분의 강도증진 영향이 있는 것으로 판단되며, 슬러지 혼입이 강도발현에 긍정적으로 작용함을 알 수 있다.

한편 W/C 60%의 경우 빈배합에서는 회수수의 미세고형성분이 크게 기여하지 않는 것으로 판단되며, 슬러지 혼입이 강도 발현에 부정적인 역할을 하지는 않는 것으로 나타났다.

인장강도의 경우 측정값의 변동으로 인하여 정확한 정량화는 어려우나 슬러지 고형성분이 콘크리트의 인장강도에 부정적인 영향을 주지 않는 것으로 보인다.

3.3.2 건조수축

슬러지 혼입률에 따른 콘크리트의 건조수축 거동을 파악하기 위하여 각 실험 변수에 대해 실시한 결과를 정리하여 나타내면 Fig. 5와 같다.

이것은 ACI 모델식에서 사용하는 Slump 및 공기량의 요인이 전체 건조수축량에 영향을 미쳤으며 CEB 모델식의 경우에는 28일 압축강도 값이 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 회수수의 특성을 기준 모델식에서 표현하기는 곤란하며, 규정이상의 회수수를 사용하고자 할 경우에는, 정확한 예측을 위해서 모델식의 보정이 필요할 것으로 사료된다.

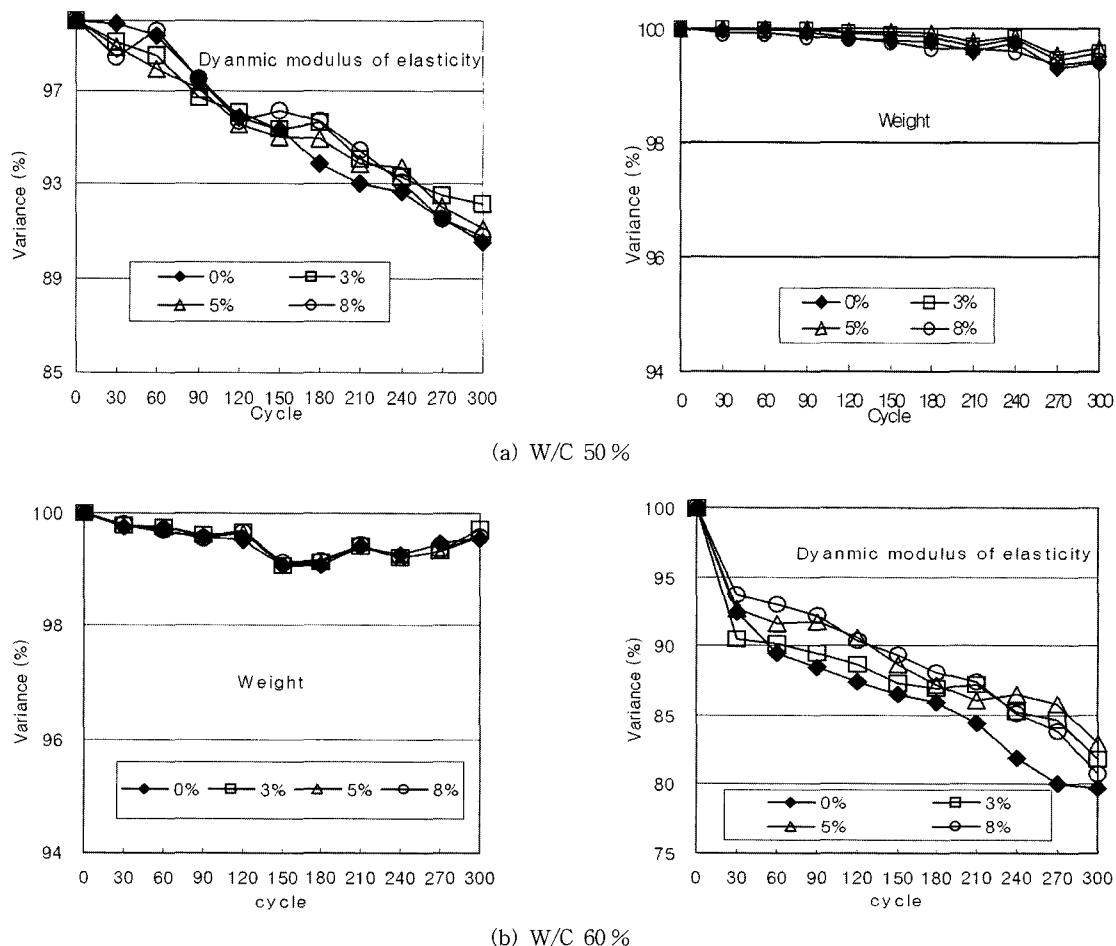


Fig. 6 Resistance to freezing and thawing

Fig. 5에서는 건조수축을 예측하는데 사용되는 CODE (ACI Model⁵⁾, CEB-FIP Model⁶⁾)의 예측 결과를 함께 비교하였다. 일반적으로, 콘크리트 배합에서 미립분이 증가하면 건조수축이 증가하는 것으로 평가되고 있으나, Fig. 5에 따르면 슬러지의 혼입률이 변화해도 측정된 건조수축 변형률은 거의 영향을 받지 않았으며 모든 W/C에서 동일한 경향을 보였다. 이에 비해, 모델식은 모두 실험값과 큰 차이를 보이고 있으며, 특히 ACI Model식의 경우에는 슬러지 혼입의 영향이 과다하게 평가되는 것으로 나타났다.

3.4. 콘크리트의 내구성

3.4.1 동결융해 저항성

슬러지 고형성분 혼입에 따른 콘크리트의 동결융해 저항성을 알아보기 위하여 슬러지 혼입률(0, 3, 5, 8%)을 변화시키고 콘크리트를 300사이클까지 동결과 융해를 반복하여 동탄성계수와 중량변화율을 측정한 결과를 W/C 50%, 60%의 경우에 대해 정리하여 나타내면 Fig. 6과 같다. Fig. 6에 따르면, 슬러지를 혼입한 W/C 50%, 60%의 콘크리트에서 동탄성계수는 슬러지 고형성분을 혼입한 콘크리트가 혼입하지 않은 콘크리트보다 양호한 경향을 보이고 있으며, 중량변화는 슬러지 혼입유무에 관계없이 비슷한 경향을 보였다. 이 결과는 기존 연구 범위의 연구 결과^{1,5)}와 일치한다.

4. 결 론

본 연구의 범위에서 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 슬러지 혼입에 따라 대체적으로 시공성이 저하되었으며 W/C가 큰 경우에는 슬러지수 혼입이 시공성에 미치는 영향이 감소하였다.
- 2) 슬러지 혼입에 따른 콘크리트의 압축강도는 본 실험 범위 내에서 슬러지 혼입 시 강도 발현에 긍정적인 작용을 하였다.

- 3) 콘크리트에 미립분이 증가하게 되면 건조수축은 상대적으로 증가하는 것이 일반적이지만 슬러지 혼입률에 따른 건조수축률은 전반적으로 큰 변화가 없었다.
- 4) 배합수에 고형성분 8%까지의 슬러지수를 혼입하여도 콘크리트의 동결융해 저항성에는 나쁜 영향을 미치지 않았다.
- 5) 종합적으로 콘크리트의 배합수로서 규정이상 농도의 회수수를 사용하여도 콘크리트 물성에 커다란 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 회수수의 고형분 사용한계를 증가시키는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 따라서 현행 회수수의 실효성을 고려하여 회수수의 고형분 사용한계를 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단지원에 의한 목적기초연구(R01-2003-000-00158-0)의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 한천구, “회수수를 사용한 레미콘의 품질 및 설비관리”, 콘크리트학회지, 14권 4호, 2002. 7, pp.40~48.
2. 정덕수 외, “회수수 안정화제 종류 및 혼입율 변화에 따른 시멘트 모르타르 특성”, 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 2003, 15권 2호, pp.477~480.
3. 이상돈, “레미콘 회수수의 콘크리트 용수로서의 재활용에 관한 실험적 연구”, 청주대학교 박사학위 논문, 1994.
4. 김기철 외, “레미콘 회수수의 콘크리트용 용수로써의 활용성에 관한 연구(I),(II)”, 한국 과학재단 연구보고서, 1994. 8.
5. ACI Committee 209, *Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures*, 1998, ACI 209R-92
6. CEB, “Durable Concrete Structures”, Thomas Telford, 1992, 112pp.

요 약

최근 환경오염과 처리비용의 문제로 레미콘(ready mixed concrete) 회수수를 배합수로 재이용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 그러나 회수수를 너무 많이 이용할 경우 콘크리트의 품질이 저하 될 수 있다. 이런 이유로 KS표준규정에선 회수수 중 슬러지 고형성분의 혼입비율을 시멘트 중량의 3% 이하로 제한하고 있다. 따라서 본 연구에서는 규정이상의 슬러지 고형성분을 혼입한 경우, 콘크리트에 미치는 영향을 검토하였다. 실험결과에 따르면, 혼입율 증가에 따라 작업성은 떨어졌으나 강도발현은 좋게 나타났다. 또한 건조수축 및 동결융해 실험에서는 슬러지수 혼입에 따른 영향이 적은 것으로 나타났다.

핵심용어 : 회수수, 작업성, 강도, 건조수축, 동결융해