

쇄석분을 사용한 초유동콘크리트의 특성에 관한 연구

이승한¹⁾* · 정용욱¹⁾

¹⁾계명대학교 토목공학과

(2001년 5월 10일 원고접수, 2001년 8월 29일 심사완료)

Properties of the Super Flowing Concrete Using Crushed Stone Fines

Seung-Han Lee¹⁾* Yong-Wook Jung¹⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea

(Received on May 10, 2001, Revised on August 29, 2001)

ABSTRACT

Super flowing concrete causes high strength and the increase of heat of hydration because of the big unit powder content of concrete to increase flowability and to improve compact of concrete. Therefore, this study investigates the characteristic properties of strength, flowability, durability and drying shrinkage to control strength and to reduce heat of hydration of super flowing concrete using crushed stone fines. According to the experimental results, when crushed stone fines are increased every 10 %, 10~15 % of compressive strength is decreased and flowability of super flowing concrete is effectively improved due to the decrease of modulus of deformation and confined water ratio. When crushed stone fines are replaced every 10 %, 4 °C of the highest adiabatic temperature rise is decreased by reducing the unit cement. However, 5 % of drying shrinkage is increased in the same condition. In the meantime, durability of super flowing concrete is excellent, having over 90 % of good relative dynamic modulus of elasticity due to fineness of formation caused by the increase of the unit powder content and the improvement of flowability, without regard to the replacement of crushed stone fines. Therefore, it can be said that the usage of crushed stone fines can control the strength of super flowing concrete by replacement and reduce heat of hydration.

Keywords : super flowing concrete, crushed stone fines, confined water ratio, compressive strength, heat of hydration

1. 서 론

최근 건설 구조물의 대형화, 고층화됨에 따라 복잡한 부재형상 및 과밀 배근 등으로 인한 콘크리트의 충전불량과 시공불량 등으로 콘크리트의 품질저하가 사회적 문제로 대두되고 있다. 이러한 콘크리트의 품질 및 구조물의 신뢰성을 향상시키기 위하여 초유동콘크리트의 개발이 요구되고 있어 이에 관한 연구^{1~3)}가 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 초유동콘크리트는 제조방법에 따라 증점제계, 분체계 및 병용계로 대별^{4,5)}하고 있다. 증점제계의 경우에는 물결합재비가 높은 초유동콘크리트의 개발에 사용되는 반면, 분체계 및 병용계의 경우에는 낮은 물결합재비의 초유동콘크리트의 개발에 적용되고 있는 실정이다.

지금까지 국내에서 개발된 초유동콘크리트는 대부분 플라이애쉬 및 고로슬래그 미분말을 사용한 분체계 및 병용

계^{6,7)}에 속한다. 이러한 분 체계 및 병용계 초유동콘크리트는 유동성 증진 및 충전성 향상을 위하여 단위분체량을 크게하기 때문에 콘크리트의 고강도화와 수화발열량을 증가시키는 문제점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 초유동콘크리트의 강도조절과 수화열 저감을 위하여 쇄석·쇄사 생산시 발생하는 쇄석분을 분체로 사용한 병용계 초유동콘크리트의 특성을 구명하였다. 특히 쇄석분을 사용한 초유동콘크리트의 강도, 유동성, 내구성능 및 건조수축 특성을 조사하여 건설현장에서 요구되는 초유동콘크리트를 제조하는데 중점을 두고, 연구를 수행하였다.

아울러 비수경성인 쇄석분을 분체로서 사용하여 수화발열량을 저감시킨 고급형 초유동콘크리트의 제조에 필요한 기초자료도 제공코자한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

* Corresponding author

Tel : 053-580-5296 Fax : 053-580-5165

E-mail : lsh@kmu.ac.kr

2.1.1 결합재

실험에 사용한 시멘트는 A사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 쇄석분은 경북 고령산으로 쇄석·쇄사 생산시 dry filler로 집진한 것으로 분말도 5500 cm²/g인 것을 사용하였다. 이들 사용분체의 물리·화학적 성질을 Table 1에 나타내었다.

2.1.2 골재

잔골재는 경북 고령산을 사용하였으며 입도조절을 위해 천연사와 부순모래를 7:3으로 혼합하여 사용하였다. 또한 굵은골재는 최대치수 20 mm로 임팩트 크랏샤로 입형을 개선한 쇄석을 사용하였다. 이들 사용재료의 물리적 성질을 Table 2에 나타내었다.

2.1.3 혼화제

본 실험에 사용한 혼화제는 폴리칼본산계 고성능감수제

와 공기연행제 및 증점제를 사용하였으며 이들 혼화제의 특성을 Table 3에 나타내었다.

2.2 실험방법

2.2.1 실험계획

본 실험에서는 단위분체량 550 kg/m³, 잔골재율 41 %로 고정하고 쇄석분 치환율을 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %로 변화시켰으며 이들 실험계획을 Table 4에 나타내었다.

2.2.2 실험항목

1) 물구속비 산정

콘크리트 배합시 상대플로우면적비(Γ_p)와 물/분체용적비(W/B)의 관계²⁾는 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

이 그림에서 물분체용적비는 상대플로우면적비가 0이 되는 직선의 절편값을 물구속비 (β_p)로하고 기울기를 변

Table 1 Chemical composition and physical properties of cement and crushed stone fines

Type	Blaine (cm ² /g)	Specific gravity	Chemical composition(%)						
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss
OPC	3,169	3.15	22.94	5.57	3.33	64.05	2.58	0.61	1.03
CS	5,500	2.72	57.40	12.77	9.76	4.68	2.37	-	4.90

Note) OPC : Ordinary portland cement
CS : Crushed stone fines

Table 2 Physical properties of aggregates

Type	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Unit weight (kg/m ³)	Ratio of absolute volume (%)
Fine aggregate	2.61	1.88	2.67	1,695	65.1
Coarse aggregate	2.71	0.94	6.91	1,640	60.6

Table 3 Chemical component and physical properties of chemical admixtures

Type	Characteristic	Main component	pH	Viscosity (cps)	Specific gravity
Superplasticizer	Dark brown	Polycarbon	11.5±1.5	-	1.05
Air-entraining admixture	Dark brown	Resin	-	-	1.02
Rheology modifier	White	Cellulose	7±0.1 (1%Solution)	10,000 (2%Solution)	1.06

Table 4 Experimental design

Type	Unit weight of binder (kg/m ³)	W/B (%)	s/a (%)	Super plasticizer (B×%)	Rheology modifier (W×%)	Air content (%)
C100	550	β_p	41	1.5	0.06	5±1
C90CS10						
C80CS20						
C70CS30						
C60CS40						

C90 CS10
└─ Crushed stone fines 10%
└─ Cement 90%

형계수 (E_p)로 하여 상대플로우면적비(Γ_p)와 비례관계인 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W/B = E_p \Gamma_p + \beta_p \quad (1)$$

본 실험에서는 쇄석분 사용시 분체입자가 구속하는 수량의 비를 산정하기 위하여 물분체용적비(W/B)를 1.1, 1.2, 1.3, 1.4로 변화시켜 각각의 물분체용적비에 대한 흐름값을 측정하였다.

상대플로우면적비(Γ_p)는 측정된 2방향 플로우의 평균치를 다음식에 적용시켜 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Gamma_p &= \frac{\pi(F_p/2)^2 - \pi(F_0/2)^2}{\pi(F_0/2)^2} \\ &= (F_p/F_0)^2 - 1 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, F_p : 슬럼프 플로우 값 (mm)

F_0 : 플로우콘 저면의 직경(100 mm)

2) 슬럼프플로우

슬럼프플로우 시험은 슬럼프콘을 사용하여 콘크리트를 채운후 슬럼프콘을 끌어 올려 콘크리트의 유동성이 멈춘 후에 퍼진 최대 직경과 그것에 직교하는 위치에서의 직경을 측정하여 양 직경의 평균치를 슬럼프플로우로 하였다. 본 실험에서는 슬럼프플로우 65 ± 5 cm를 기준으로 하였다.

3) 충전성 평가시험

콘크리트의 충전성 평가는 Fig. 2와 같은 높이 59 cm 폭 28 cm 용기의 중앙부에 이형철근 D13을 5 cm격으로 3개 배치한 U형 충전시험 장치로 실험을 행하였다.

4) 상대유하속도

상대유하속도는 Fig. 3과 같은 형상의 V로드 시험장치로 콘크리트가 유하하는 시간을 관찰하고, 밀면이 보이는 시점을 유하시간의 종점으로 하여 이 때의 시간을 유하시간으로 하였다.

V로드 상대유하속도는 다음식으로 구한다.

$$\text{상대유하속도} = \frac{10}{V_t} \quad (3)$$

여기서, V_t = 유하시간(sec)

5) 콘크리트 수화발열 특성

콘크리트의 단열온도상승시험 방법으로는 물 순환식 방

법과 공기 순환식 방법⁸⁾이 있으나 본 실험에서는 간이 수화발열 특성시험을 실시하였다.

시험에 사용한 시험체는 Fig. 4와 같이 두께 2 cm, 길이 20 cm의 정육면체 크기의 스티로폼 단열재에 콘크리트를 채운 후 내부에 온도계이지를 매입하고 시간의 변화에 따라 30분 간격으로 수화발열량을 측정하였다.

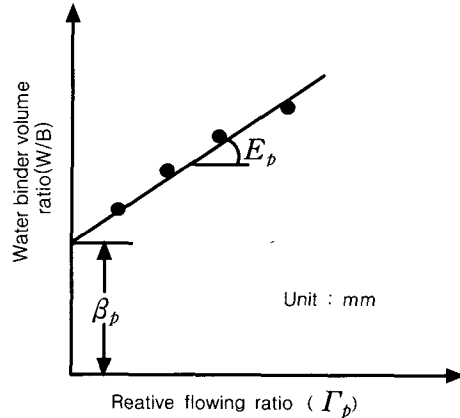


Fig. 1 Linear regression analysis of β_p

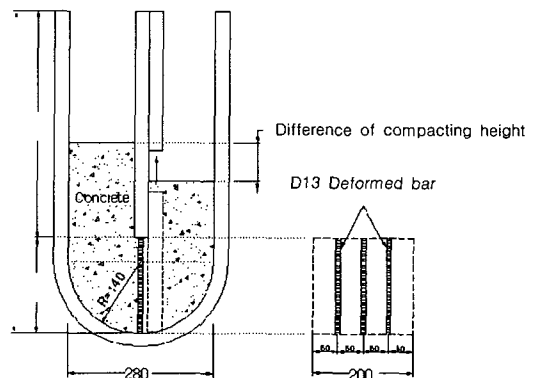


Fig. 2 U type compacting test apparatus

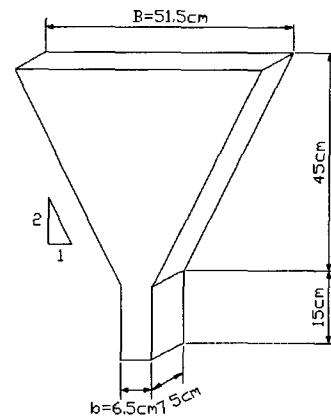


Fig. 3 V type funneling test apparatus

2.2.3 배합 및 공시체 제작

배합 방법은 Fig. 5와 같이 50 l 강제식 믹서를 사용하여 시멘트 및 쇄석분을 잔골재와 함께 60초간 건비빔을 한 후 1차수를 투입하고 90초간 믹싱을 하였다. 이 후 2차수와 혼화제 및 굵은골재를 투입하여 150초간 믹싱하여 배출하였다.

배합 후 굳지 않은 콘크리트의 공기량을 비롯한 유동성, 충전성 및 V로드 유효시험을 실시하였다.

공시체는 각 배합별로 $\phi 10 \times 20$ cm의 압축강도 측정용, $10 \times 10 \times 40$ cm의 콘크리트 길이변화 측정용, $76 \times 101 \times 412$ mm의 동결융해시험용을 각각 제작하였다. 또한 압축강도용 공시체는 1일후 탈형하고, 20 ± 1 °C의 양생조에서 수중양생을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 쇄석분 치환량이 물구속비에 미치는 영향

Fig. 6은 쇄석분 치환량에 따른 물분체용적비를 1.1, 1.2, 1.3, 1.4의 4종류로 변화시켜 상대플로우 면적비를 직선회귀식으로 나타낸 것이다.

물구속비가 크다는 것은 유동성에 기여하지 못하고 결합재에 흡수되는 수량이 높다는 것을 의미하며, 변형계수가 크다는 것은 시멘트 페이스트를 동일한 범위의 플로우로 증가시키는데 필요한 단위수량을 크게 요구하는 것을 의미⁹⁾한다.

Fig. 6에서 직선의 기울기를 나타내는 변형계수는 쇄석분 무치환시 0.09로 나타났으나, 10 %치환시 마다 0.01씩 감소하여 40 %치환시 변형계수가 0.05를 나타내고 있다. 이는 쇄석분 치환율이 증가할수록 동일한 범위의 플로우를 증가시키는데 필요한 물분체 용적비가 감소된다는 것을 알 수 있다.

다음 Fig. 7에 분말도 $5,500 \text{ cm}^2/\text{g}$ 인 쇄석분 치환율에 따른 물구속비의 변화를 나타내었다.

Fig. 7에서 보통포틀랜드 시멘트 사용시 1.09의 물구속비를 나타내었으나 쇄석분 치환율이 10 %증가시마다 물구속비가 약 0.02씩 감소하여 40 %치환시 물구속비는 1.01을 나타내었다.

이것은 쇄석분이 유동성에 기여하지 못하고 결합재에 흡수되는 수량이 작다는 것을 의미한다. 즉 쇄석분은 치환량이 증가할수록 구속수량을 감소시켜 유동성 향상에 효과적임을 나타내고 있다.

3.2 유동 및 충전특성

Fig. 8은 쇄석분 치환율에 따른 유동 및 충전특성을 나타낸 것으로 슬럼프플로우 65 ± 5 cm와 U형 충전고차 5 cm

이내를 만족하고 있다. 또한 이그립에서 쇄석분은 치환율이 증가할수록 슬럼프플로우를 증가시켜 콘크리트의 유동성 향상에 효과적임을 나타내고 있다. 한편 쇄석분은 치환율이 증가할수록 U형 충전고차를 감소시켜 40 %치환시 가장 낮은 충전고차 1.5 cm 나타내고 있다

다음 Fig. 9는 쇄석분 치환율에 따른 상대유하속도를 나타낸 것이다.

일반적으로 상대유하속도가 낮으면 점성부족으로 유하 시간이 길어지고, 너무 높으면 콘크리트의 유동성 부족과 점성이 증가하여 유하속도가 길어지게 된다. 따라서 슬럼프플로우 65 ± 5 cm인 초유동콘크리트의 적정 상대유하속

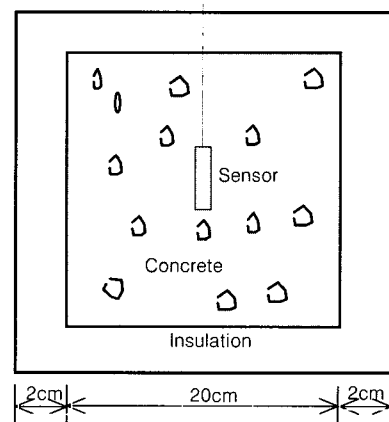


Fig. 4 Test specimen of concrete

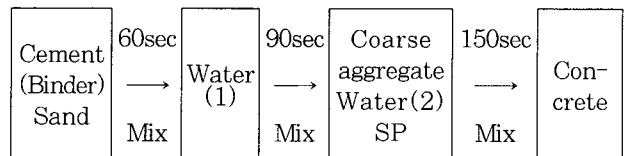


Fig. 5 Mixing method of concrete

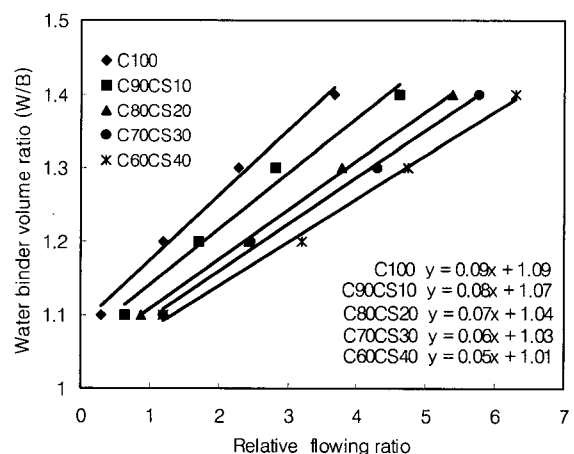


Fig. 6 Test results of confined water ratio

도는 0.4~1.2의 범위가 적당하다고 보고¹⁰⁾하고 있다.

Fig. 9에서 쇄석분 무치환시 V로드 상대유속도는 0.1로 나타났으며, 이것은 페이스트의 점성부족으로 유하시간이 길어진 것이다. 반면, 쇄석분 10%치환시 0.56, 40%치

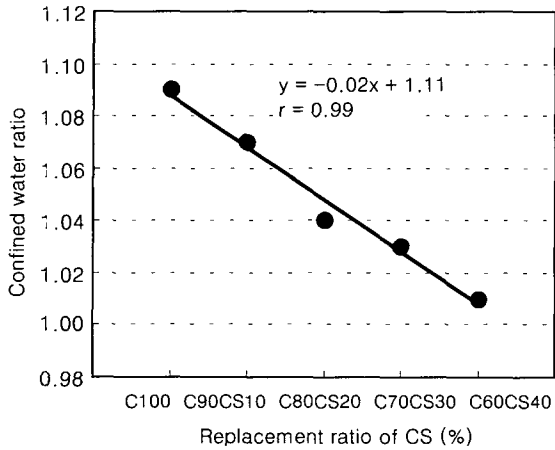


Fig. 7 Confined water ratio according to replacement ratio of CS

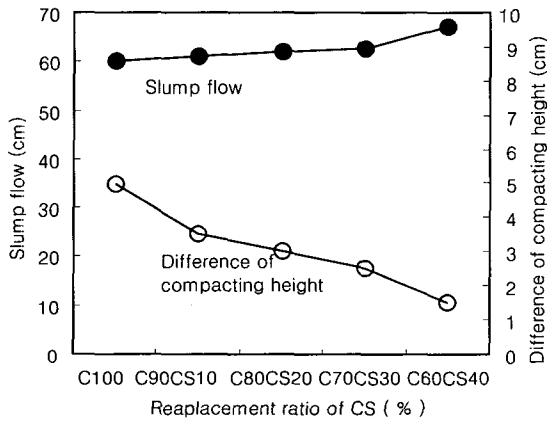


Fig. 8 Correlation difference of compacting height with slump flow according to replacement ratio of CS

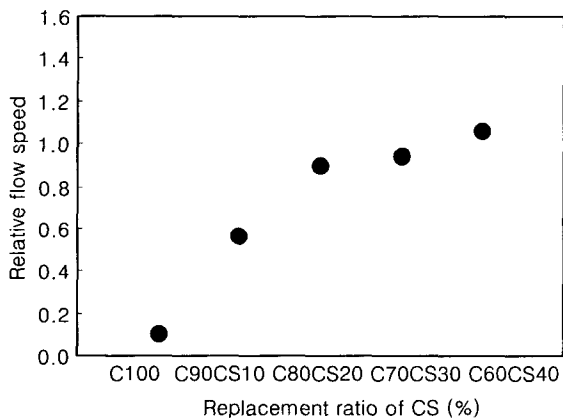


Fig. 9 Relative flow speed according to replacement ratio of CS

환시 1.06으로 기준상대유속도 0.4~1.2범위를 만족하고 있는 것을 볼 수 있다.

3.3 압축강도 특성

쇄석분 치환율에 따른 재령별 압축강도 특성을 Fig. 10에 쇄석분 무치환에(C100) 대한 7, 28, 56, 91일 쇄석분 치환율별 압축강도 강도비를 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 10에서 압축강도는 재령에 관계없이 쇄석분 치환량이 증가할수록 비례적으로 감소하고 있다. 또한 Fig. 11에서 쇄석분 사용은 재령에 관계없이 쇄석분 치환율이 10% 증가시 마다 무치환시의 압축강도를 약 10~15%씩 감소시키고 있음을 나타내고 있다.

다음 Fig. 12는 쇄석분치환량을 제외한 순수단위시멘트량으로 계산한 물시멘트비(W/C)에 따른 7, 28, 56, 91일 압축강도 특성을 나타내었다.

Fig. 12에서 콘크리트의 압축강도는 물시멘트비가 증가할수록 감소하여 쇄석분 치환량에 관계없이 물시멘트비의 영향을 받고 있음을 나타내고 있다. 이것은 쇄석분이 비

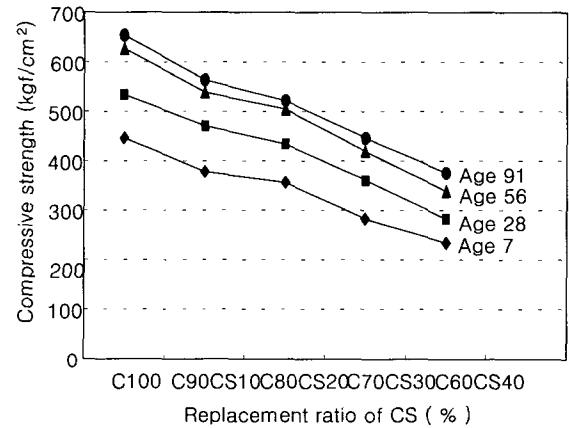


Fig. 10 Compressive strength according to replacement ratio of CS

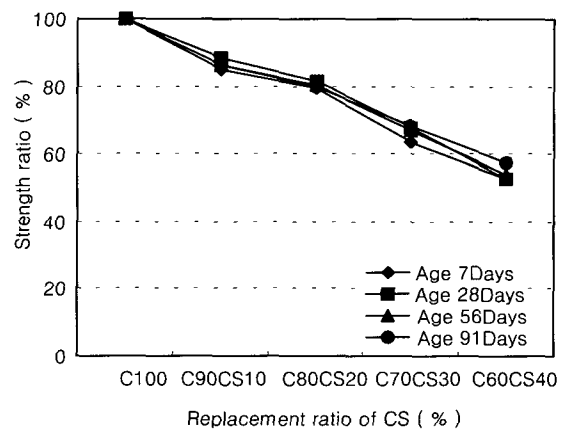


Fig. 11 Compressive strength ratio according to replacement ratio of CS

수경성 물질로서 치환량이 증가할수록 시멘트량의 감소에 따른 상대적 물시멘트비의 증가에 의한 것으로 사료된다. 따라서 쇄석분은 고강도화되는 분체계 및 병용계 초유동 콘크리트의 강도조절용 분체로 적합하다고 사료된다.

3.4 건조수축 특성

일반적으로 시멘트의 일부로서 석분을 치환하였을 경우 건조수축 저감 효과가 거의 없다는 보고¹¹⁾가 있으며 본 실험 결과에서도 쇄석분 치환시 건조수축량을 증가시키는 것으로 나타났다.

다음 Fig. 13은 쇄석분 치환율에 따른 길이변화율을 나타낸 것으로 쇄석분 치환율이 10%증가 할 때마다 건조수축량은 약 5%씩 증가하여, 40%치환시 무치환시와 비교해 약 20%정도 증대되는 것으로 나타났다.

3.5 수화발열 특성

시멘트의 수화열은 초기 수화단계에서 발생하는 시멘트 조성광물 중의 C3A와 C3S의 양에 의존되며¹²⁾ 수화속도와 열발생속도는 시멘트량과 시멘트의 종류, 구조물의 크기, 타설방법, 타설시의 콘크리트 온도와 양생온도 등에 따라 달라진다.

본 실험에서는 쇄석분 치환율에 따른 열적특성을 검토하기 위하여 간이단열온도상승 시험을 실시하였다. Fig. 14에 쇄석분 치환율에 따른 단열온도 상승량을 나타내었다.

Fig. 14에서 약 24시간에서 최고온도를 나타내었으며, 쇄석분 10%치환시 마다 최고온도가 약 4℃씩 감소하고 있으며, 40%치환시 최고온도가 40℃로 무치환시 최고온도 57℃와 비교해 17℃정도의 단열온도상승량을 저감시켰다. 이것은 쇄석분이 수화반응을 일으키지 않는 비수경성 재료로서 결합재의 일부로 사용시 단위시멘트량의 감소에 따른 온도상승 억제효과라고 사료된다.

3.6 동결융해 특성

콘크리트의 내동해성은 공기량의 범위가 4%이상이거나 압축강도가 400 kgf/cm²이상이면 동해를 받지 않는다는 보고¹³⁾도 있다.

본 연구에서는 $f_{28} = 240 \text{ kgf/cm}^2$, Non-AE인 일반콘크리트와 초유동콘크리트에서 쇄석분 무치환과 쇄석분 30%치환에서 AE계 혼입유무에 따른 상대동탄성계수를 측정하여 Fig. 15에 나타내었다.

Fig. 15에서 일반콘크리트는 동결융해 150 cycle에서 상대동탄성계수 60%이하로 떨어진 반면, 병용계 초유동콘크리트의 동결융해저항성은 AE계 혼입유무와 쇄석분 혼입유무에 관계없이 동결융해 300 cycle이상에서 상대동탄

성계수가 90%이상을 나타내고 있다. 이것은 Fig. 16에 나타낸 것과 같이 초유동콘크리트의 경우 높은 유동성으로 기포조직의 치밀화¹⁴⁾로 높은 상대동탄성계수를 나타내는 것으로 사료된다.

더 나아가 쇄석분사용은 Fig. 16의 (c), (d)와 같이 고유동성과 더불어 필러(filler)작용으로 콘크리트 경화체내

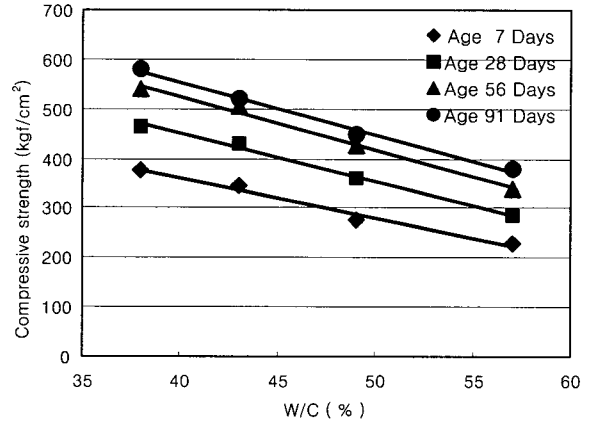


Fig. 12 Compressive strength ratio according to W/C

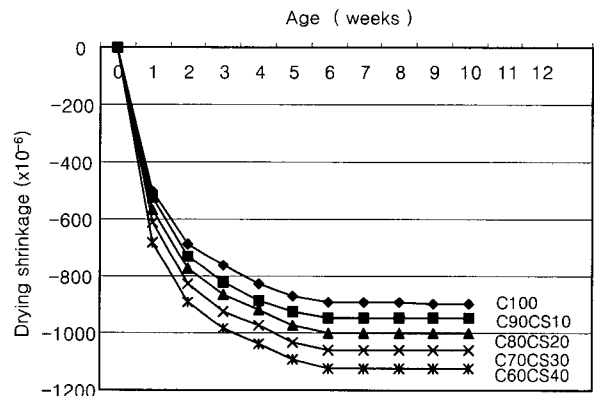


Fig. 13 Drying shrinkage according to replacement ratio of CS

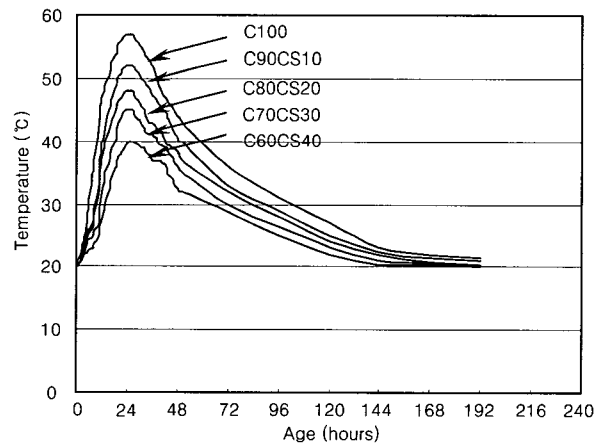


Fig. 14 Adiabatic temperature of concrete

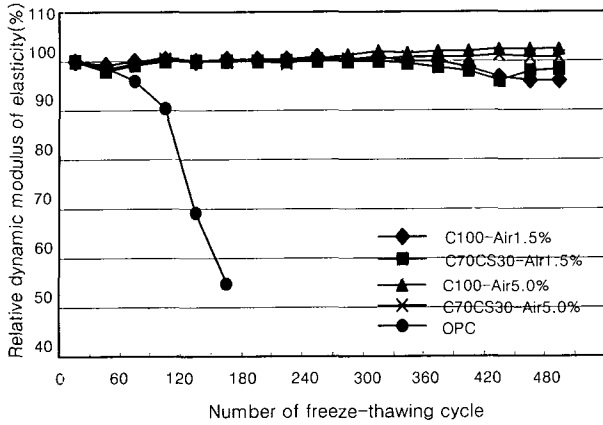


Fig. 15 Relative dynamic modulus of elasticity of concrete

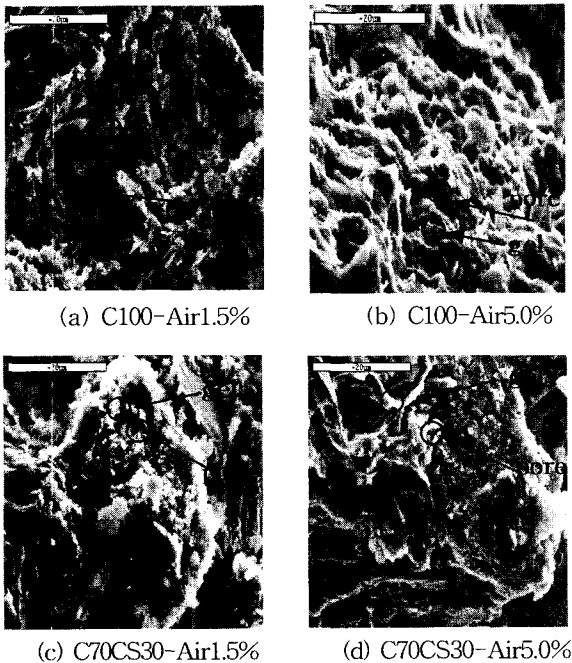


Fig. 16 SEM analysis of concrete

에 공극을 감소시켜 내부조직의 치밀화를 기하여 내동해성을 향상시키는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 분체로서 쉐석분을 사용하여 초유동콘크리트의 특성을 조사한 것으로 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 쉐석분은 치환율 10% 증가시마다 무치환시의 압축강도를 약 10~15%씩 감소시키고 있어 고강도화되는 병용계 초유동콘크리트의 강도조절용 분체로 사용 가능하다.
- 2) 쉐석분은 비수경성 재료로 10%치환시 마다 최고단

열온도 상승량을 4℃씩 감소시켜 40%치환시 최고온도를 17℃ 저감시킴으로서 병용계 초유동콘크리트의 수화열 저감에 효과적이다.

3) 쉐석분은 치환율 10% 증가시 마다 변형계수 0.01, 물구속비 약 0.02씩 감소시켜 유동에 기여하지 못하고 결합체에 흡수되는 수량을 줄임으로서 유동성을 증가시킨다.

4) 쉐석분은 슬럼프플로우를 증가시키고, U형충전고차는 감소시켜 초유동콘크리트의 유동성 증진 및 충전성 향상에 효과적이다.

5) 초유동콘크리트용 분체로서 쉐석분을 사용시 건조수축량을 증가시키며 10%증가시 마다 약 5%의 건조수축량을 증가시킨다.

6) 병용계 초유동콘크리트의 동결융해저항성은 유동성 증가에 따른 기포조직이 치밀화되어 우수하게 나타났으며, 초유동콘크리트의 쉐석분 사용은 필러작용으로 내동해성을 향상시키는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 1998년 계명대학교 비사연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee, S. H., Han H. S., "Effect of Powder and Aggregates on Compactability of High Performance Concrete," *Concrete Journal*, Vol.11, No.3, July, 1999, pp.19~28.
2. 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅, "하이퍼퍼포먼스콘크리트," 技報堂出版, 1993.
3. 이상수 외 4인, "石灰石粉을 사용한 超流動 콘크리트의 流動特性에 關한 研究," 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제10권 2호(통권 제19집), 1998. 11, pp.369~374.
4. 松岡康訓, "超流動콘크리트, 콘크리트工學論文集," Vol.31, No.3, 1993. 3, pp.79~82.
5. 日本土木學會, "高流動콘크리트에 關する技術의 現況と課題," 콘크리트技術シリーズ, 平成 8年 12月.
6. 添田政司 外 3人, "高爐スラグ微粉末を用いた早強性を有する高流動콘크리트의 耐凍害性에 關する研究," 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.18, No.1, 1996, pp.153~158.
7. 近松龍一, 竹田宣典, 十河茂幸, "超流動콘크리트의 流動性と分離抵抗性에 關する一考察," 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992, pp.381~386.
8. 笠井芳夫, 池田尙治, "콘크리트의 試驗方法, 技術書院," pp.249~253.
9. 綠川猛彦, 丸山久一, "紛体の拘束水比に及ぼす粒子形狀

- 의影響,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.17, No.1, 1995, pp.123~128.
10. 한형섭, “자기충전성 고성능 콘크리트의 배합설계와 특성에 관한 연구,” 석사학위논문, 1998. 6.
 11. 日本コンクリート工學協會, “超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集,” 1993. 5, pp.151~163.
 12. 浅井あかね, 近藤吾郎, 森田司郎, “溫度依存性を考慮したセメントの水和發熱特性,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.18, No.1, 1996, pp.231~236.
 13. 오병환, “내구성향상을 위한 고성능콘크리트의 개발과 활용,” 한국콘크리트학회지, 제6권 1호, 1997. 2, pp.44~51.
 14. 添田政司 外3人, “高爐スラグ微分末を用いた早強性を有する高流動コンクリートの耐凍害性に關する研究,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.18, No.1, 1996, pp.153~158.

요 약

초유동콘크리트는 유동성 증진 및 충전성 향상을 위해 단위분체량을 크게하기 때문에 콘크리트의 고강도화와 수화발열량을 증가시키는 문제점을 가지고 있다. 이에 본 연구는 초유동콘크리트의 강도조절과 수화열 저감을 위해 쉐석분을 이용하여 초유동콘크리트의 강도, 유동성, 내구성 및 건조수축 특성을 검토하였다.

실험결과 쉐석분은 치환율 10% 증가시마다 무치환시의 압축강도를 약 10~15%씩 감소시키며, 변형계수와 물구속비를 감소시켜 초유동콘크리트의 유동성 향상에 효과적이다. 또한 초유동콘크리트에서 쉐석분 10%치환시 마다 단위시멘트량 감소에 따른 최고 단열온도상승량을 약 4℃씩 감소시켰다. 반면 건조수축량은 10%치환시마다 약 5% 증가시켰다.

한편 초유동콘크리트의 내구성은 단위분체량과 유동성향상에 따른 조직의 치밀화로 쉐석분 치환에 관계없이 상대동탄성계수 90%이상으로 우수하게 나타났다.

이와 같이 분체로서 쉐석분 사용은 치환량에 따른 초유동콘크리트의 강도조절이 가능하며 수화발열량을 저감시킬 수 있다.

핵심용어 : 초유동콘크리트, 쉐석분, 물구속비, 압축강도, 수화열