

재생굵은골재를 사용한 초유동 콘크리트의 유동성

Fluidity of Super Flow Concrete Using Recycled Coarse Aggregate

성 찬 용* · 박 일 순**

Sung, Chan Yong · Park, Il Soon

Abstract

This study was performed to evaluate fluidity of super flow concrete using recycled coarse aggregate.

The unit weight was 2,246~2,344 kg/m³, the unit weights of these concrete were decreased with increasing the content of fly ash and recycled coarse aggregate.

The slump flow was 58~63 cm, the Box type passing was 3.4~6.8 cm, respectively. The L type compacting was excellent in the fly ash content 10% and 20%, but, it was showed in good in the fly ash content 30%.

The super flow concretes using recycled coarse aggregate were improved by substitution in the range of less than the fly ash content 20% and recycled coarse aggregate content 75%.

This recycled coarse aggregate can be used for super flow concrete.

Keywords : Super flow concrete, Fluidity, Recycled coarse aggregate, Unit weight, Slump flow, Box type passing, L type compacting

I. 서 론

최근 환경문제가 대두됨에 따라 산업폐기물의 재활용과 처리문제에 많은 관심과 연구가 진행되고 있으며, 콘크리트 수요의 급격한 증가로 인한 골재 부족현상이 나타나고 있다.

한편, 구조물 해체시 가장 다량으로 얻어지는 폐콘크리트를 콘크리트용 골재로 사용함으로써 환경

오염을 방지하고, 골재 채취로 인한 자연훼손을 감소시킬 수 있다.

특히, 미국, 영국, 스페인, 프랑스를 비롯한 외국에서도 발생량이 급증하고 있는 건설폐기물 중에서도 폐콘크리트가 약 90%를 차지하고 있으며, 우리나라에서도 2000년 현재 약 1,500만톤이었던 폐콘크리트 발생량이 2020년에는 약 1억톤 이상으로 급격히 증가할 것으로 예상되기 때문에 날로 심각해지는 주거환경, 지역환경 및 지구환경 파괴에 대한 대책으로서 부가가치가 높고 수요가 많은 폐콘크리트의 재자원화 기술개발 및 실용화 방안에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다.^{1),3),4),5),7),11),12)}

* 충남대학교 농업생명과학대학

** 충남대학교 대학원

* Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5798

Fax: +82-42-825-5791

E-mail address: cysung@cnu.ac.kr

폐기물 처리를 통해 생산된 재생골재는 도로보조 기층 등 수요처가 한정되어 있었으나, 1 m³당 7,000~8,000원의 처리비용을 받고 수거한 뒤 KS 규격 1종 재생굵은골재로 만들어 되팔 때는 1 m³당 6,000원 가량을 받고 있어 천연굵은골재 가격의 60%선에 그치고 있다. 재생굵은골재는 파쇄작업을 거친 후 수중에서 초속 80 m로 벽에 충돌시키고, 특수스크류에서 3,000회 회전시켜 세척하기 때문에 불순물이 제거되며, 표면 마모가 이루어져 콘크리트 제조시 균열량이 적고 접착력이 우수하다.

그러나, 수요업체에서 재생골재 사용에 의구심이 있는 만큼, 재생골재의 물리·역학적 성질을 구명하여 천연골재 대용으로 사용한다면 충분히 경제성이 있을 것으로 판단된다.

한편, 화력발전소에서 원료로 사용하는 석탄을 연소할 때 발생하는 플라이 애시는 주로 매립용으로 사용되어 왔으나, 최근에는 콘크리트의 품질과 시멘트 대체를 위한 혼화재료로서 경제적 시공과 산업부산물의 재활용이라는 측면에서 그 활용방안이 연구되고 있다.¹⁰⁾

또한, 콘크리트 구조물이 대형화됨에 따라 펌프를 이용한 시공으로 공기를 단축하고, 인력절감에 기여하고 있지만, 펌프의 압송성이나 시공성만을 위해 단위수량을 증가시켜 콘크리트의 내구성 저하를 가져오는 경우가 흔히 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 콘크리트의 유동성을 증가시켜 인위적인 다짐이 필요 없고, 내구성을 비롯한 콘크리트의 성능을 향상시킨 초유동 콘크리트가 널리 이용되고 있다.

따라서, 본 연구는 골재 부족현상과 천연골재 생산으로 인한 자연환경 훼손의 대처 방안으로 폐콘크리트를 파쇄하여 만든 재생굵은골재와 시멘트, 고성능감수제, 췌석, 천연잔골재, 플라이 애시를 사용하여 슬럼프 플로우가 60±5 cm인 초유동 콘크리트의 단위중량, 슬럼프 플로우, Box형 통과성, L형 충전성 시험을 실시하고, 이에 따른 유동 특성을 비교 분석하여 재생굵은골재를 초유동 콘크리트

의 재료로 활용하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 KS F 5201에 규정된 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질과 화학성분은 Table 1, 2 와 같다.

Table 1 Physical properties of normal Portland cement

Specific gravity (20 °C)	Setting time (h-min)		Compressive strength (MPa)		
	Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	5-7	7-20	19	21	31

Table 2 Chemical compositions of normal Portland cement (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

나. 골재

굵은골재는 충남지역에서 생산되는 췌석과 재생골재를, 잔골재는 금강유역에서 생산되는 천연골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 3, 4, 5 와 같다.

Table 3 Physical properties of crushed coarse aggregate

Size (mm)	Specific gravity (20 °C)	Absorption ratio (%)	F.M	Unit weight (kg/m ³)
5-20	2.61	1.13	6.02	1,448

Table 4 Physical properties of recycled coarse aggregate

Size (mm)	Specific gravity (20 °C)	Absorption ratio (%)	F.M	Unit weight (kg/m ³)
5-20	2.2	6.11	6.88	1,214

Table 5 Physical properties of fine aggregate

Size (mm)	Specific gravity (20 °C)	Absorption ratio (%)	F.M	Unit weight (kg/m ³)
0.6-5	2.61	2.34	2.32	1,476

다. 플라이 애시

플라이 애시는 보령화력발전소에서 부산되는 것을 사용하였으며, 그 물리적 성질 및 화학성분은 Table 6, 7과 같다.

Table 7 Chemical compositions of fly ash (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	Ig.loss
59.9	25.2	5.93	0.59	0.09	0.41	4.04	3.84

라. 고성능감수제

콘크리트의 유동성과 강도증진을 위하여 음이온 계면활성제인 나프탈렌 설펜산염을 주성분으로 한 고성능감수제를 사용하였으며, 이의 일반적 성질은 Table 8과 같다.

Table 6 Physical properties of fly ash

Specific gravity (20 °C)	Specific surface (cm ² /g)	Unit weight (kg/m ³)	Grain size (mm)	Color
2.39	3,152	1,072	< 0.15	Gray

Table 8 General properties of superplasticizer

Specific gravity (20 °C)	PH	Color	Freezing point (°C)	Principal ingredient	Unit weight (kg/m ³)
1.20	9±1	Dark brown liquid	-2	Naphthalene sulfonate	1,190

Table 9 Mix design of super flow concrete using recycled coarse aggregate

(Unit: kg/m³)

Mix type	Binder		Fine aggregate	Coarse aggregate		Superplasticizer	Water	W/B (%)
	Cement	Fly ash		Crushed	Recycled			
RSF10-1	476	53	832	832	0	7.9	185	35
RSF10-2				624	208			
RSF10-3				416	416			
RSF10-4				208	624			
RSF10-5				0	832			
RSF20-1	406	101	842	842	0	7.6	178	35
RSF20-2				631	211			
RSF20-3				421	421			
RSF20-4				211	631			
RSF20-5				0	842			
RSF30-1	342	146	850	850	0	7.3	171	35
RSF30-2				638	212			
RSF30-3				425	425			
RSF30-4				212	638			
RSF30-5				0	850			

*RSF : Super flow concrete using recycled coarse aggregate

2. 콘크리트 배합

가. 배합설계

초유동 콘크리트의 배합은 유동성과 강도증진에 중점을 두었으며, 플라이 애시를 사용하여 분체량을 증가시키는 방법을 사용하였다. 목표 슬럼프 플로우가 60 ± 5 cm가 되도록 플라이 애시는 결합재 중량의 10%, 20% 30%를 치환하였고, 물-결합재 비는 35%로 하였으며,⁸⁾ 재생굵은골재는 쇄석의 0%, 25%, 50%, 75%, 100%를 치환하였고, 고성능감수제는 결합재 중량의 1.5%를 사용하였으며, 이의 배합설계는 Table 9와 같다.

3. 시험방법

시험은 KS에 규정된 방법에 준하여 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

가. 단위용적중량 시험

단위용적중량은 재생굵은골재와 플라이 애시를 사용하고 슬럼프 플로우가 보통 시멘트 콘크리트보다 월등히 커 배합설계에 따라 어느정도 감소하는 지를 파악하기 위하여, KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 준하여 $\varnothing 100 \times 200$ mm로 시험체를 제작하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자(21 °C, 습도 $96 \pm 2\%$)에서 24시간 정치 후 탈형하여 채령 28일까지 수중양생(23 \pm 1 °C)을 한 후 표면건조포화상태의 중량과 체적을 측정하여 산출하였다.

나. 슬럼프 플로우 시험

슬럼프 플로우는 밀면 $\varnothing 200$ mm, 윗면 $\varnothing 100$ mm, 높이 300 mm의 몰드에 KS F 2402 (포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 준하여 제작하였으며, 제작 후 5초 후에 몰드를 제거하여 변형된 밀면의 지름을 측정하여 유동성을 파악

하였다.

다. Box형 통과성 시험

Box형 통과성은 Fig. 1과 같은 시험장치에서 왼쪽의 Box에 시료를 채우고, 왼쪽과 오른쪽 Box를 연결하는 판을 들어 올리면 왼쪽 Box에서 오른쪽 Box로 시료가 이동한다. 시료가 왼쪽 Box에서 오른쪽 Box로 이동하기 위해서는 5 cm 간격으로 D₁₅ 철근이 배치되어 있는 중앙부분을 통과해야 하며, 그 유동성은 왼쪽 Box와 오른쪽 Box의 높이 차이를 측정하여 평가하였다.

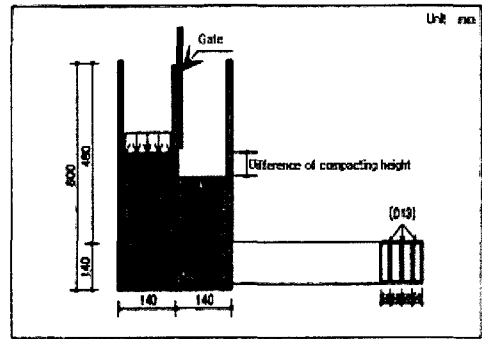


Fig. 1 Box type passing test apparatus

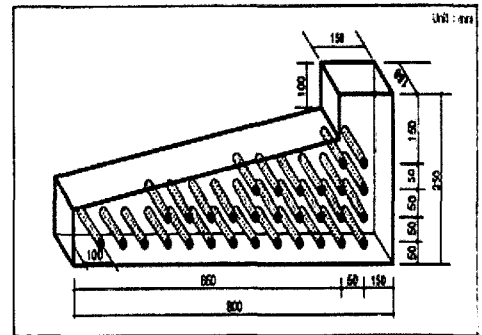


Fig. 2 L type compacting test apparatus

라. L형 충전성 시험

L형 충전성은 Fig. 2와 같은 시험장치의 시료 투입구에 시료를 넣고 충전속도 및 최종충전 상태를 기준으로 충전 성능을 판단하여 유동성을 파악하였

으며, 시료가 하단에 도달하여 상판을 가득 채우면 Excellent(우수), 시료가 하단에 도달하였으나 상단의 중앙부분까지 채우면 Good(양호), 시료가 하단에 도달하지 못하고 상단의 중앙부분을 채우면 Average(보통) 시료가 절반에도 도달하지 못하면 Bad(불량) 등 4가지로 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

재생굵은골재와 플라이 애시를 사용한 초유동 콘크리트의 시험결과를 Table 10과 같다.

Table 10 Test results of super flow concrete using recycled coarse aggregate

Mix type	Unit weight (kg/m ³)	Slump flow (cm)	Box-type passing (height:cm)	L-type compacting
RSF10-1	2,364	62	3.5	Excellent
RSF10-2	2,344	62	3.7	Excellent
RSF10-3	2,315	61	3.8	Excellent
RSF10-4	2,293	62	3.8	Excellent
RSF10-5	2,264	62	3.8	Excellent
RSF20-1	2,353	63	3.4	Excellent
RSF20-2	2,339	61	4.0	Excellent
RSF20-3	2,290	60	4.0	Excellent
RSF20-4	2,276	60	4.5	Excellent
RSF20-5	2,250	62	4.8	Excellent
RSF30-1	2,350	60	5.2	Good
RSF30-2	2,333	60	5.9	Good
RSF30-3	2,286	58	6.4	Good
RSF30-4	2,274	58	6.7	Good
RSF30-5	2,246	59	6.8	Good

1. 단위용적중량

초유동 콘크리트의 단위용적중량은 플라이 애시의 첨가량 및 재생굵은골재의 치환율에 따라 차이가 있으며, 각 배합에 따른 시험결과를 비교하면 Table 10 및 Fig. 3과 같다.

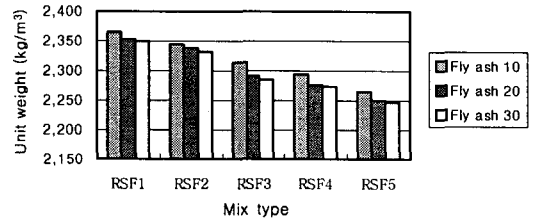


Fig. 3 Comparison of unit weight by mix type

Table 10 및 Fig. 3에서 보는 바와 같이 초유동 콘크리트의 단위용적중량은 플라이 애시 10%를 사용한 경우 2,264~2,364 kg/m³의 범위를 나타내었고, 플라이 애시 20% 와 30% 를 사용한 경우 2,250~2,353 kg/m³와 2,246~2,350 kg/m³의 범위를 나타냄으로서, 재생굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 콘크리트의 단위용적중량이 각각 4% 정도 감소하였는데, 이는 쇄석보다 비중이 작은 재생굵은골재를 사용하였기 때문이라 생각된다.¹¹⁾

또한, 결합재에 대한 플라이 애시의 치환율이 증가할수록 단위용적중량이 감소하였는데, 이는 시멘트보다 비중이 작은 플라이 애시를 사용함으로써 콘크리트의 단위용적중량이 감소한 것으로 판단된다.

2. 슬럼프 플로우

초유동 콘크리트의 슬럼프 플로우는 Table 10 및 Fig. 4에서 보는 바와 같이 플라이 애시를 10% 치환한 경우 초유동 콘크리트의 목표 슬럼프 플로우 60 ± 5 cm를 만족하는 61~62 cm로 나타났으며, 20% 와 30% 를 치환한 경우도 각각 60~63 cm 와 58~60 cm로서 초유동 콘크리트의 목표 슬럼프 플로우를 만족하는 값을 나타내었다.

또한, 재생굵은골재의 치환율에 따른 슬럼프 플로우의 변화는 쇄석만 사용한 경우와 재생굵은골재만을 사용한 경우에 약간 크게 나타나는 경향을 보였으며, 재생굵은골재를 쇄석의 50% 치환하여 사용한 경우에 가장 낮은 값을 나타내었다. 또한, 플라이 애시의 치환율에 따른 슬럼프 플로우의 변화

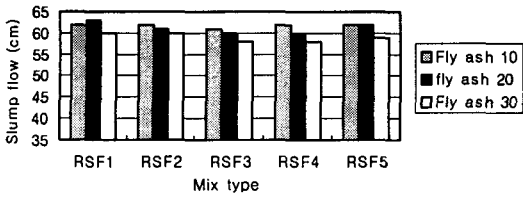


Fig. 4 Comparison of slump flow by mix type

는 전 배합에서 플라이 애시의 치환율이 30% 인 경우에 가장 작게 나타났는데, 이는 단위체적당 잔골재량은 많고, 시멘트량은 적어 콘크리트의 유동성을 감소시킨 결과라 생각된다.

한편, 플라이 애시 및 고성능 감수제의 사용으로 인한 슬럼프 플로우의 증가는 재생굵은골재를 사용하더라도 초유동 콘크리트의 제조에 문제가 없음을 나타낸 결과라 할 수 있다. 특히, 재생굵은골재만을 사용한 경우에도 초유동 콘크리트의 목표 슬럼프 플로우를 만족하는 시험결과를 볼 때, 재생굵은골재도 콘크리트 골재로의 사용 가능성을 보여준다 하겠다.²⁾

또한, 플라이 애시의 치환율이 20% 이하인 경우, 초유동 콘크리트 제조에 재생굵은골재의 사용이 가능할 것으로 판단된다.

3. Box형 통과성

Box형 통과성은 Table 10 및 Fig. 5에서 보는 바와 같이 플라이 애시를 10% 치환한 경우 Box양단의 높이 차이는 3.5~3.8 cm, 플라이 애시를 20% 와 30% 치환한 경우는 각각 3.4~4.8 cm와 5.2~6.8 cm로 나타나 플라이 애시의 치환율이 증가됨에 따라 양단의 높이 차이가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 단위체적당 잔골재의 양은 많고 시멘트량은 적기 때문에 콘크리트의 유동성이 감소한 결과라 판단된다.⁹⁾

한편, 모든 배합에서 재생굵은골재의 치환율이 증가할수록 Box 양단 높이 차이가 크게 나타나는 경향을 보였는데, 이는 입형이 고르지 못한 재생굵

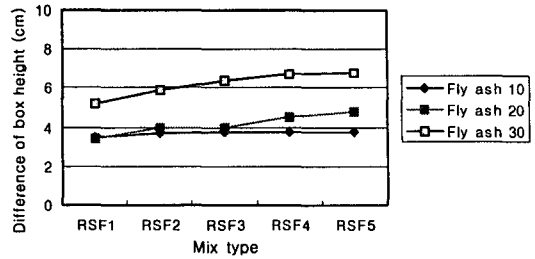


Fig. 5 Difference of box height by mix type

은골재의 영향 때문이라 생각된다.

또한, Table 10에서 보는 바와 같이 재생굵은골재의 치환율이 75% 이하인 경우, 초유동 콘크리트 제조에 재생굵은골재의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

4. L형 충전성

L형 과밀 배근 충전성은 Table 10에서 보는 바와 같이 재생굵은골재의 치환율과는 무관하게 플라이 애시를 10% 와 20% 치환한 경우에는 모두 충전성이 Excellent(우수)한 것으로 나타났으며, 플라이 애시를 30% 치환한 경우에도 충전성이 Good(양호)으로 평가되었는데, 이는 재생굵은골재의 치환율과는 관계없이 플라이 애시의 사용으로 콘크리트의 유동성이 증가되었기 때문이며, 플라이 애시를 30% 치환한 경우는 슬럼프 플로우의 시험결과와 마찬가지로 단위체적당 잔골재량은 많고 시멘트량은 적어 콘크리트의 유동성을 감소시켜 L형 충전성을 저해하였기 때문이라 생각된다.⁶⁾ 이와같은 시험결과로 볼 때, 플라이 애시의 치환율이 20% 이하인 경우, 초유동 콘크리트 제조에 재생굵은골재의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

이 연구는 산업폐기물의 재활용 방안으로 재생굵은골재를 쇄석의 0%, 25%, 50%, 75%, 100% 플라이 애시를 결합재 중량의 10%, 20%, 30% 치환

하고, 고성능감수제를 결합재 중량의 1.5% 사용한 초유동 콘크리트를 개발하여 그 유동성을 구명하였으며, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단위용적중량은 배합설계에 따라 2,246~2,364 kg/m³로 나타났으며, 재생굵은골재와 플라이 애시의 치환율이 증가함에 따라 4% 정도 감소하였다.

2. 슬럼프 플로우는 58~63 cm, Box형 통과성은 3.4~6.8 cm로 나타났으며, L형 충전성은 재생굵은골재의 치환율에 관계없이 플라이 애시를 10% 와 20% 치환한 경우 모두 우수한 것으로 나타났고, 30% 치환한 경우에는 양호한 것으로 나타났다.

3. 쇄석의 75%를 재생굵은골재로, 플라이 애시를 시멘트 대용으로 20% 치환한 콘크리트의 슬럼프 플로우와 Box형 통과성 및 L형 충전성이 우수하게 나타나 초유동 콘크리트 제조에 재생굵은골재의 활용이 가능할 것으로 생각된다.

4. 따라서, 이러한 재생굵은골재를 콘크리트 재료로 활용함으로써 골재난의 해소와 골재수급을 위한 자연환경의 훼손을 경감할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Collins, R.J., 1994, Reuse of demolition materials in relation to specifications in the U.K, demolition and reuse of concrete and masonry, *F&FN SPON*: 49-58.
- Dabid, W.A., 1999, The influence of mixing on the rheology of fresh cement paste, *Cement and Concrete Research*, (29): 1,491-1,496.
- Henrichsen, A., 2000, Use of recycled aggregates in Europe. *International Workshop on Recycled Concrete*: 1-8, JSPS 76 Committee on Construction Materials.
- Kibert, C.J., 1994, Concrete / masonry recycling progress in the USA, demolition and reuse of concrete and masonry, *F&FN SPON*: 83-91.
- Kim, M. H and S.P.Kang., 2003, Technology for reuse of waste concrete, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, 15(2): 21-29. (in Korean)
- Lachemi, M., 2001, Self-compacting concrete incorporating high volumes of fly ash preliminary result, *Cement and Concrete Research*, (31): 413-420.
- Morel, A and Gallias, J.L., 1994, Practical guidelines for the use of recycled aggregates in concrete in France and Spain, demolition and reuse of concrete and masonry, *F&FN SPON*: 105-116.
- Nan, Su., 2001. A simple mix design method for self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, (31): 1,799-1,807.
- Okamura, H., 1995, Self-compacting high performance concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 7(5): 33-41.
- Sung, C. Y., S. H. Lee and C. S. Song., 2000, Experimental study on physical and mechanical properties of concrete with fly ash, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 42(3): 107-113. (in Korean)
- Sung. C. Y and Y. I. Kim., 2003, Physical and mechanical properties of concrete using recycled aggregate and industrial by-products, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 45(6): 128-135. (in Korean)
- Sung. C. Y and S. H. Im., 2004, Freezing and thawing properties of high strength concrete using recycled coarse aggregate, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 46(2): 59-66. (in Korean)