

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2009-0037622 (43) 공개일자 2009년04월16일
(51) Int. Cl. C04B 28/00 (2006.01) C04B 14/02 (2006.01) C04B 18/14 (2006.01) C04B 18/08 (2006.01) (21) 출원번호 10-2007-0103036 (22) 출원일자 2007년10월12일 심사청구일자 2007년10월12일	(71) 출원인 고려대학교 산학협력단 서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내 (사)한국터널공학회 서울 서초구 서초동 1445-3 서초국제전자센터빌딩 1411호 (72) 발명자 윤영수 서울 성북구 안암동5가 고려대학교 자연계캠퍼스 공학관 312호 박장호 서울 성북구 안암동5가 고려대학교 자연계캠퍼스 공학관 338호 (뒷면에 계속) (74) 대리인 강경찬, 박경찬, 특허법인태웅	

전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 매스콘크리트에 적용가능한 고강도, 고유동성 콘크리트조성물

(57) 요약

본 발명은 매스콘크리트에 적용가능한 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물에 관한 것으로 특히 플라이애쉬와 고로슬래그의 3성분계 배합비를 제시함으로써 고강도는 물론 고유동성이 확보되며, 친환경적이고, 경제적인 콘크리트 조성물에 관한 것이다.

(72) 발명자

양준모

서울 성북구 안암동5가 고려대학교 자연계캠퍼스
공학관 338호

민경환

서울 성북구 안암동5가 고려대학교 자연계캠퍼스
공학관 338호

특허청구의 범위

청구항 1

시멘트, 골재, 혼화제로 구성되는 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물에 있어서, 물-결합재비가 36%로 구성되며, 혼화제의 치환율이 50%인 것을 특징으로 하는 매스콘크리트에 적용가능한 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 혼화제의 치환율이 플라이애쉬 10%와 고로슬래그 40%인 것을 특징으로 하는 매스콘크리트에 적용 가능한 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 혼화제의 치환율이 플라이애쉬 15%와 고로슬래그 35%인 것을 특징으로 하는 매스콘크리트에 적용 가능한 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 혼화제의 치환율이 플라이애쉬 20%와 고로슬래그 30%인 것을 특징으로 하는 매스콘크리트에 적용 가능한 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <1> 본 발명은 매스콘크리트에 적용가능한 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물에 관한 것으로 특히 플라이애쉬와 고로슬래그의 3성분계 배합비를 제시함으로써 고강도는 물론 고유동성이 확보되며, 친환경적이고, 경제적인 콘크리트 조성물에 관한 것이다.
- <2> 일반적으로 매스콘크리트라 함은 댐 공사는 물론이고 교량의 기초 및 교각 등에 주로 사용하였으나, 최근 들어서는 건축공사에 있어서 구조물의 대형화에 따른 매트기초 등에 많이 적용되고 있다.
- <3> 국내에서는 부재단면의 최소 치수가 80 ~ 100cm 이상이거나 하단이 구속되어 있는 벽으로 두께 50cm 이상의 콘크리트를 "매스콘크리트"로 분류하고 있다.
- <4> 콘크리트는 경화과정에서 발생하는 시멘트의 수화열에 의해서 온도가 상승하며, 특히 단면이 큰 구조물 즉 매스콘크리트에서는 이 온도 상승(수화열) 때문에 균열이 발생하여 구조물의 수밀성이나 내구성을 훼손하는 경우가 많이 있다.
- <5> 이와 같은 매스콘크리트에 있어 균열을 제어하는 대책으로 다양한 것이 제시되고 있는 바, 일 예로 저발열성 시멘트를 사용하여 수화열을 줄이는 방법이 제시되고 있으나, 이는 경제적이지 않은 단점이 있고 시멘트의 사용증대로 인한 환경적인 문제를 야기한다.
- <6> 또한, 2성분계 시멘트를 사용하는 방법으로 플라이애쉬를 일정량 시멘트와 치환하여 사용하는 방법이 제시되고 있으나, 플라이애쉬의 경우 재료의 질 정도에 따라 물성치의 변화가 심하여 플라이애쉬의 사용량을 한정하고 있는 실정이다.
- <7> 이렇듯 플라이애쉬만을 치환하여 사용하는 경우의 문제점 때문에 타 혼화제 즉 일 예로 고로슬래그를 플라이애쉬와 함께 치환하는 3성분계가 제시되고는 있으나, 현재 그 적정 배합비에 대한 기준이 없으며, 3성분계에 의해

서도 고강도를 유지하여 단면을 감소시킬 수 있으며, 이와 같은 고강도를 유지하고 있음에도 고유동성을 확보하여 시공성 등에서 고성능의 콘크리트를 제조하기 위한 어떠한 3성분계에 대한 배합비가 제시되고 있지 않고 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <8> 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 플라이애쉬와 고로슬래그의 3성분계에 대한 최적의 배합비를 제시하고, 이와 함께 고강도와 고유동성을 확보할 수 있는 최적의 물-결합재비를 제시하여 고강도에 의한 경제적인 단면과 고유동성에 의한 시공적인 면 등에 의해 매스콘크리트에 있어 발생할 수 있는 구조적 문제점을 보강할 수 있으며, 혼화재의 사용으로 친환경적이고, 경제적인 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물을 제공하고자 함이다.

발명의 구성 및 작용

- <9> 상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 매스콘크리트에 적용 가능한 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물은 시멘트, 골재, 혼화제로 구성되는 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물에 있어서, 물-결합재비가 36%로 구성되며, 혼화재의 치환율이 50%인 것을 특징으로 한다.
- <10> 한편, 본 발명에서는 상기 혼화재의 치환율에 있어 최적의 배합으로 플라이애쉬 10%와 고로슬래그 40%의 배합을 제시한다.
- <11> 또한, 본 발명에서는 상기 혼화재의 치환율에 있어 최적의 배합으로 플라이애쉬 15%와 고로슬래그 35%의 배합을 제시한다.
- <12> 또한, 본 발명에서는 상기 혼화재의 치환율에 있어 최적의 배합으로 플라이애쉬 20%와 고로슬래그 30%의 배합을 제시한다.
- <13> 이하 실험 예 및 실시 예를 통하여 본 발명을 상세히 설명한다.
- <14> 본 발명의 매스콘크리트에 적용 가능한 고강도, 고유동성 콘크리트 조성물은 일반적인 콘크리트 조성물 즉, 시멘트, 골재로 구성되며 고강도를 나타내며 동시에 고유동성을 만족하는 콘크리트를 제조하기 위해 혼화재를 치환하는 것으로 고강도의 특성을 유지하면서 고유동성을 확보하기 위해 물-결합재비가 36%로 구성되며, 혼화재의 치환율이 50%인 것을 특징으로 한다.
- <15> 특히 상기 혼화재의 치환율에 있어 각각의 본 발명의 실시 예로서 3성분계를 제시하는데, 본 발명에서는 3성분계에 있어서도 특히 플라이애쉬 10%와 고로슬래그 40%의 배합, 플라이애쉬 15%와 고로슬래그 35%의 배합, 플라이애쉬 20%와 고로슬래그 30%의 배합을 제시한다.
- <16> 상기 최적의 3성분계는 이하에서 제시하는 실험 예에 의해 그 효과가 증명된다.

<실험 예>

- <17> <18> (가) 관련설계기준 및 목표물성
- <19> 설계기준강도 이상의 고강도 콘크리트 제조 시 목표 물성치를 설정하기 위한 관련 설계기준이 기 제시된다.
- <20> ① 배합강도
- <21> 구조물에 사용된 콘크리트의 압축강도가 설계기준강도보다 작아지지 않도록 콘크리트의 배합강도(f_{cr})를 설계기준강도(f_{ck})보다 충분히 크게 정해야 한다. 대형, 대단면 구조물 적용 콘크리트(매스콘크리트)의 경우 설계강도의 목표를 50MPa로 설정한다.
- <22> ② 물-시멘트비
- <23> 물-시멘트비는 콘크리트의 배합강도, 내구성, 수밀성 및 균열저항성 등을 고려하여 정해야 한다. 단 결합재로서 포졸란반응성 및 잠재수경성을 갖는 혼화재를 사용할 경우 물-시멘트비는 물-결합재비가 된다. 따라서 본 발명 및 실험 예에서는 물-시멘트비 대신 물-결합재비가 사용된다.
- <24> 콘크리트의 압축강도를 기준으로 하여 물-시멘트비를 정할 경우 압축강도와 물-시멘트비와의 관계는 시험에 의하여 정하는 것을 원칙으로 하며, 이때 공시체는 재령 28일을 표준으로 한다. 배합에 사용한 물-시멘트비는 기준 재령의 시멘트-물비와 압축강도와와의 관계식에서 배합강도에 해당하는 시멘트-물비 값의 역수로 한다. 콘크

리트의 내동해성을 기준으로 하여 물-시멘트비를 정할 경우 그 값은 표 1의 값 이하이어야 한다.

표 1 콘크리트의 내동해성 기준 AE콘크리트의 최대 물-시멘트비(%)

구조물의 노출상태	기상조건 및 단면	기상작용이 심한 경우 또는 동결융해가 종종 반복되는 경우		기상작용이 심하지 않은 경우, 빙점 이하의 기온으로 되는 일이 드문 경우	
		얇은 경우	보통의 경우	얇은 경우	보통의 경우
계속해서 또는 종종 물로 포화되는 부분		45	50	50	55
보통의 노출상태에 있으며 위에 해당하지 않는 경우		50	55	55	60

제빙화학제가 사용되는 콘크리트의 물-시멘트비는 45% 이하로 해야 하며, 콘크리트의 탄산화 저항성을 고려해야 하는 경우 물-시멘트비는 55% 이하로 해야 하는데, 본 실험에서는 목표 압축강도를 만족할 수 있도록 기존의 배합 데이터를 토대로 물-결합재비를 30, 35, 40%로 하여 시험배합을 실시하였다.

③ 슬럼프

콘크리트의 슬럼프는 운반, 타설, 다짐 등의 작업에 알맞은 범위 내에서 될 수 있는 대로 작은 값으로 정해야 하는데, 콘크리트를 타설할 때의 슬럼프 값은 표 2와 같다.

표 2 슬럼프의 표준값(mm)

종 류		슬럼프 값
철근콘크리트	일반적인 경우	80~150
	단면이 큰 경우	60~120
무근콘크리트	일반적인 경우	50~150
	단면이 큰 경우	50~100

본 실험에서는 고유동화제를 사용하여 목표 슬럼프플로우 50 ± 5 cm 에 맞추었다.

④ 공기량

콘크리트는 AE콘크리트로 하는 것을 원칙으로 하고, 공기량은 굵은 골재 최대치수와 내동해성을 고려하여 표 3과 같이 정하며, 운반 후 공기량은 이 값에서 $\pm 1.5\%$ 이내이어야 한다.

표 3 AE콘크리트 공기량의 표준값

굵은골재 최대치수(mm)	공기량(%)	
	심한 노출	보통 노출
10	7.5	6.0
15	7.0	5.5
20	6.0	5.0
25	6.0	4.5
40	5.5	4.5

본 연구에서는 굵은골재 최대치수를 20mm로 사용하였으며, 공기량은 $5.0 \pm 1.5\%$ 를 목표 값으로 설정하였다.

⑤ 혼화재료의 단위량

제빙화학제에 노출된 콘크리트에 있어서 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 또는 실리카흄을 시멘트 재료의 일부로 치환하여 사용하는 경우 이들 혼화재의 사용량은 표 4의 값을 초과하지 않도록 해야 한다.

표 4 제빙화학제에 노출된 콘크리트에서의 최대 혼화재 비율

혼화재의 종류	시멘트와 혼화재 전체에 대한 혼화재의 질량백분율(%)
플라이애쉬	25
고로슬래그 미분말	50
실리카흄	10
플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 실리카흄의 합계	50*
플라이애쉬와 실리카흄의 합계	35*

<41>

<42>

본 실험에서는 여러 가지 혼화재의 사용량에 대한 비교치를 제시하기 위해 플라이애쉬만을 혼화재로 사용한 시험체로 그 치환율을 플라이애쉬 10%(FA10) 및 20%(FA20), 고로슬래그만을 혼화재로 사용한 시험체로 그 치환율을 고로슬래그 30%(BS30) 및 50%(BS50), 그리고 3성분계로 상기 표의 기준에 따라 플라이애쉬10%+고로슬래그 40%(FA10BS40), 플라이애쉬15%+고로슬래그35%(FA15BS35), 플라이애쉬20%+고로슬래그30%(FA20BS30)를 사용하였다.

<43>

상기에서 언급한 물-결합재비, 공기량, 혼화재 치환율 등에 의해 본 실험에서 사용된 목표 물성치 및 배합변수는 표 5와 같다.

<44>

표 5 목표 물성치 및 배합변수

배합강도	물-결합재 비(W/B)	슬럼프플로우	공기량	배합변수
7일재령: 30MPa 28일재령: 50MPa	0.28% 0.36%	50±5cm	5.0±1.5%	OPC FA10 FA20 BS30 BS50 FA10BS40 FA15BS35 FA20BS30

<45>

<46>

상기 배합변수에서 OPC라함은 혼화재가 치환되지 않은 콘크리트를 말하며, 상기 물-결합재비로서 28%와 36%는 상기 배합강도, 슬럼프플로우, 공기량 등을 고려하여 프로그램 분석을 통해 산출한 값으로 이 실험에 사용된 프로그램은 "유전자 알고리즘을 이용한 고성능 콘크리트 배합설계 프로그램"(프로그램 등록번호 제2005-01-129-005-787호), "신경망이론을 이용한 고성능 콘크리트 배합설계 프로그램"(프로그램 등록번호 제2005-01-129-005-786호), 및 "화음탐색법을 이용한 고성능 콘크리트 배합설계 프로그램"(프로그램 등록번호 제2005-01-129-005-789호)이 사용되었다.

<47>

(나) 사용재료

<48>

실험에 사용한 재료의 성질은 표 6과 같다.

<49>

표 6 실험에 사용된 재료의 성질

시멘트	- 1종 보통포틀랜드시멘트(OPC) - 비중: 3.15 - 분말도: 3,413 g/cm ²
잔골재	- 세척사 - 비중: 2.59 - 조립율: 2.84
굵은골재	- 쇄석 - 비중: 2.63 - 최대치수: 20mm
플라이애쉬	- 보령산 F급 - 비중: 2.20 - 분말도: 3,450 g/cm ²
고로슬래그	- 비중: 2.80 - 분말도: 4,266 g/cm ²
혼화제	- 고성능감수제: 나프탈렌계 - 공기연행제

<50>

<51>

(다) 배합표

<52> 시험 배합에 사용된 배합 변수 및 배합비는 표 7, 표 8과 같다.

<53> 표 7 시험 배합 변수

물-결합재비 (%)	30, 35, 40
플라이애쉬 치환율(%)	0, 10, 20
잔골재율 (%)	37~51%
단위수량 (kg/m ³)	160, 170, 180
고성능 감수제 (%)	0~2
공기연행제 (%)	0~0.013

<54>

<55> 표 8 시험 배합비

Num	W/B(%)	S/a(%)	FA(%)	Unit Weight(kg/m ³)						Chemical Admixture	
				Water	Blinder	Cement	FA	Fine Agg.	Coarse Agg.	SP(%)	AE(%)
1	0.30	49	0	160	533	533	0	805	845	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
2	0.30	49	10	160	533	480	53	786	845	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
3	0.30	48	20	160	533	427	107	767	845	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
4	0.30	46	0	160	533	533	0	753	898	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
5	0.30	45	10	160	533	480	53	734	898	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
6	0.30	44	20	160	533	427	107	715	898	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
7	0.30	42	0	160	533	533	0	701	950	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
8	0.30	42	10	160	533	480	53	682	950	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
9	0.30	41	20	160	533	427	107	663	950	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
10	0.30	47	0	170	567	567	0	751	845	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
11	0.30	46	10	170	567	510	57	731	845	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
12	0.30	46	20	170	567	453	113	711	845	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
13	0.30	44	0	170	567	567	0	700	898	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
14	0.30	44	10	170	567	510	57	679	898	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
15	0.30	42	20	170	567	453	113	659	898	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
16	0.30	40	0	170	567	567	0	648	950	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
17	0.30	40	10	170	567	510	57	628	950	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
18	0.30	39	20	170	567	453	113	608	950	1.0	0.013
										1.5	
										2.0	
19	0.30	45	0	180	600	600	0	698	845	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
20	0.30	44	10	180	600	540	60	677	845	0.75	0.013
										1.25	

<56>

<57>

표 8 시험 배합비

Num	W/B(%)	S/a(%)	FA(%)	Unit Weight(kg/m ³)						Chemical Admixture	
				Water	Binder	Cement	FA	Fine Agg.	Coarse Agg.	SP(%)	AE(%)
21	0.30	44	20	180	600	480	120	655	845	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
22	0.30	42	0	180	600	600	0	646	898	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
23	0.30	41	10	180	600	540	60	625	898	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
24	0.30	40	20	180	600	480	120	604	898	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
25	0.30	38	0	180	600	600	0	594	950	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
26	0.30	38	10	180	600	540	60	573	950	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
27	0.30	37	20	180	600	480	120	552	950	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
28	0.35	51	0	160	457	457	0	867	845	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
29	0.35	50	10	160	457	411	46	851	845	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
30	0.35	50	20	160	457	366	91	835	845	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
31	0.35	50	0	160	457	457	0	816	898	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
32	0.35	47	10	160	457	411	46	799	898	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
33	0.35	47	20	160	457	366	91	783	898	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
34	0.35	45	0	160	457	457	0	764	950	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
35	0.35	44	10	160	457	411	46	747	950	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
36	0.35	43	20	160	457	366	91	731	950	0.75	0.013
										1.25	
										1.75	
37	0.35	49	0	170	486	486	0	818	845	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	
38	0.35	49	10	170	486	437	49	801	845	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	
39	0.35	48	20	170	486	389	97	783	845	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	
40	0.35	46	0	170	486	486	0	766	898	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	

<58>

<59>

표 8 시험 배합비

Num	W/B(%)	S/a(%)	FA(%)	Unit Weight(kg/m ³)						Chemical Admixture	
				Water	Binder	Cement	FA	Fine Agg.	Coarse Agg.	SP(%)	AE(%)
41	0.35	45	10	170	486	437	49	749	898	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	
42	0.35	45	20	170	486	389	97	732	898	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	
43	0.35	43	0	170	486	486	0	714	950	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	
44	0.35	42	10	170	486	437	48	697	950	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	
45	0.35	42	20	170	486	389	97	680	950	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	
46	0.35	48	0	180	514	514	0	769	845	0.25	0.013
										0.75	
										1.25	
47	0.35	47	10	180	514	463	51	750	845	0.25	0.013
										0.75	
										1.25	
48	0.35	46	20	180	514	411	103	732	845	0.25	0.013
										0.75	
										1.25	
49	0.35	44	0	180	514	514	0	717	898	0.25	0.013
										0.75	
										1.25	
50	0.35	44	10	180	514	463	51	698	898	0.25	0.013
										0.75	
										1.25	
51	0.35	43	20	180	514	411	103	680	898	0.25	0.013
										0.75	
										1.25	
52	0.35	41	0	180	514	514	0	665	950	0.25	0.013
										0.75	
										1.25	
53	0.35	40	10	180	514	463	51	647	950	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	
54	0.35	40	20	180	514	411	103	628	950	0.5	0.013
										1.0	
										1.5	
55	0.40	52	0	160	400	400	0	914	845	0.5	0.010
										1.0	
										1.5	
56	0.40	52	10	160	400	360	40	900	845	0.5	0.010
										1.0	
										1.5	
57	0.40	51	20	160	400	320	80	886	845	0.5	0.010
										1.0	
										1.5	
58	0.40	49	0	160	400	400	0	863	898	0.5	0.010
										1.0	
										1.5	
59	0.40	49	10	160	400	360	40	848	898	0.5	0.010
										1.0	
										1.5	
60	0.40	48	20	160	400	320	80	834	898	1.0	0.010
										1.5	
										1.5	

<60>

<61>

표 8 시험 배합비

Num	W/B(%)	S/a(%)	FA(%)	Unit Weight(kg/m ³)						Chemical Admixture	
				Water	Binder	Cement	FA	Fine Agg.	Coarse Agg.	SP(%)	AE(%)
61	0.40	46	0	160	400	400	0	811	950	0.5	0.010
										1.0	
										1.5	
62	0.40	46	10	160	400	360	40	797	950	0.5	0.010
										1.0	
										1.5	
63	0.40	45	20	160	400	320	80	782	950	0.5	0.010
										1.0	
										1.5	
64	0.40	51	0	170	425	425	0	868	845	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
65	0.40	50	10	170	425	383	43	853	845	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
66	0.40	50	20	170	425	340	85	838	845	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
67	0.40	48	0	170	425	425	0	816	898	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
68	0.40	47	10	170	425	383	43	801	898	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
69	0.40	47	20	170	425	340	85	786	898	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
70	0.40	45	0	170	425	425	0	764	950	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
71	0.40	44	10	170	425	383	43	749	950	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
72	0.40	44	20	170	425	340	85	734	950	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
73	0.40	49	0	180	450	450	0	821	845	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
74	0.40	49	10	180	450	405	45	805	845	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
75	0.40	48	20	180	450	360	90	789	845	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
76	0.40	46	0	180	450	450	0	770	898	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
77	0.40	46	10	180	450	405	45	754	898	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
78	0.40	45	20	180	450	360	90	738	898	0.0	0.010
										0.5	
										1.0	
79	0.40	43	0	180	450	450	0	718	950	0.5	0.010
										1.0	
										1.5	
80	0.40	42	10	180	450	405	45	702	950	0.5	0.010
										1.0	
										1.5	

<62>

<63>

(라) 시험 배합 결과

<64>

시험 배합 결과는 표 9와 같다.

<65>

표 9 배합 결과표

Num	재령28일 압축강도 (MPa)	슬럼프(cm)		공기 량(%)	Num	재령28일 압축강도 (MPa)	슬럼프(cm)		공기 량(%)
1	736	1st	8.0	3.5	11	644	1st	9.5	5.7
		2nd	20.5	4.0			2nd	19.5	4.8
		3rd	23.0	5.5			3rd	23.0	5.2
2	731	1st	8.0	4.3	12	647	1st	10.5	2.6
		2nd	21.5	4.0			2nd	26.0	2.1
		3rd	24.0	4.0			3rd	26.5	2.4
3	727	1st	9.5	2.5	13	639	1st	8.5	3.7
		2nd	24.5	3.3			2nd	22.5	4.3
		3rd	26.0	3.6			3rd	24.0	3.8
4	694	1st	8.5	4.8	14	634	1st	9.0	3.9
		2nd	20.0	4.3			2nd	20.5	4.0
		3rd	24.5	4.4			3rd	24.0	4.1
5	705	1st	6.5	2.9	15	620	1st	7.5	3.4
		2nd	21.0	3.4			2nd	20	3.8
		3rd	23.5	3.3			3rd	23	3.8
6	681	1st	8.0	3.9	16	624	1st	10.5	3.9
		2nd	20.5	4.6			2nd	24.5	4.3
		3rd	25.0	4.9			3rd	25.5	3.3
7	678	1st	11.0	4.8	17	617	1st	9.5	4.7
		2nd	24.0	4.2			2nd	22.5	4.5
		3rd	24.5	4.2			3rd	25.5	4.5
8	670	1st	7.0	3.1	18	619	1st	11.0	2.8
		2nd	21.0	3.5			2nd	26.0	2.8
		3rd	24.0	3.7			3rd	26.0	3.0
9	641	1st	6.5	2.2	19	595	1st	7.5	3.0
		2nd	22.5	2.2			2nd	22.0	4.2
		3rd	25.0	2.3			3rd	24.5	4.8
10	646	1st	8.5	3.3	20	611	1st	7.0	2.8
		2nd	21.0	4.4			2nd	19.5	2.9
		3rd	23.0	4.3			3rd	24.0	3.4

<66>

<67>

표 9 시험 배합 결과

Num	재령28일 압축강도 (MPa)	슬럼프(cm)		공기 량(%)	Num	재령28일 압축강도 (MPa)	슬럼프(cm)		공기 량(%)
21	608	1st	7.5	2.2	31	621	1st	4.0	3.2
		2nd	25.0	2.9			2nd	17.5	4.0
		3rd	26.0	3.0			3rd	22.0	4.6
22	605	1st	8.5	4.5	32	615	1st	6.0	3.2
		2nd	21.0	4.7			2nd	19.5	3.2
		3rd	24.5	3.9			3rd	24.0	3.5
23	599	1st	8.0	4.2	33	578	1st	8.5	2.9
		2nd	21.0	4.3			2nd	24.5	3.2
		3rd	24.5	4.4			3rd	25.5	2.5
24	570	1st	6.5	2.7	34	615	1st	6.0	4.2
		2nd	20.0	2.9			2nd	18.5	4.5
		3rd	25.0	2.9			3rd	26.0	4.1
25	597	1st	8.5	4.2	35	608	1st	12.5	3.6
		2nd	22.5	4.4			2nd	26.0	3.0
		3rd	27.0	4.5			3rd	25.0	2.7
26	600	1st	8.0	4.0	36	576	1st	8.5	2.3
		2nd	21.0	4.7			2nd	24.0	2.1
		3rd	26.0	4.5			3rd	26.0	2.5
27	596	1st	6.0	2.2	37	588	1st	3.5	4.1
		2nd	24.0	2.2			2nd	19.5	5.0
		3rd	26.5	2.8			3rd	24.5	3.2
28	620	1st	5.5	5.0	38	568	1st	3.5	2.6
		2nd	14.5	4.6			2nd	22.5	3.9
		3rd	21.5	5.4			3rd	25.5	3.4
29	620	1st	12.0	4.9	39	553	1st	3.5	2.2
		2nd	25.0	4.5			2nd	20.0	3.6
		3rd	26.0	3.8			3rd	26.0	3.9
30	606	1st	11.0	3.4	40	578	1st	4.5	2.8
		2nd	24.0	3.1			2nd	19.5	5.3
		3rd	25.5	3.2			3rd	25.0	4.7

<68>

<69>

표 9 시험 배합 결과

Num	재령28일 압축강도 (MPa)	슬럼프(cm)		공기 량(%)	Num	재령28일 압축강도 (MPa)	슬럼프(cm)		공기 량(%)
41	566	1st	4.0	3.5	51	473	1st	4.0	2.5
		2nd	24	4.5			2nd	17.0	3.0
		3rd	25.5	4.7			3rd	27.0	3.5
42	569	1st	6.5	2.5	52	521	1st	4.5	4.0
		2nd	22.5	2.9			2nd	19.0	4.8
		3rd	25.5	2.2			3rd	25.0	3.9
43	561	1st	6.0	4.5	53	455	1st	9.5	3.9
		2nd	22.0	4.2			2nd	22.0	4.7
		3rd	24.5	4.4			3rd	24.0	2.0
44	559	1st	7.0	3.8	54	475	1st	9.0	3.0
		2nd	23.0	5.0			2nd	21.0	3.5
		3rd	26.5	3.6			3rd	24.0	2.2
45	543	1st	5.0	2.2	55	496	1st	5.0	8.2
		2nd	22.5	4.0			2nd	17.0	7.6
		3rd	26.0	2.9			3rd	24.0	7.8
46	542	1st	4.5	6.2	56	480	1st	6.5	7.1
		2nd	19.5	6.1			2nd	20.5	7.0
		3rd	25.5	7.0			3rd	24.0	7.2
47	527	1st	4.0	4.5	57	477	1st	5.0	5.5
		2nd	19.5	4.6			2nd	22.0	6.0
		3rd	25.5	5.5			3rd	24.0	5.8
48	510	1st	4.0	2.9	58	491	1st	7.0	6.8
		2nd	19.5	3.8			2nd	21.0	6.5
		3rd	27.0	3.5			3rd	25.0	7.0
49	546	1st	5.5	4.2	59	480	1st	8.5	7.5
		2nd	15.0	3.9			2nd	20.5	6.4
		3rd	24.0	4.8			3rd	24.5	6.5
50	503	1st	3.5	3.8	60	485	1st	8.0	7.3
		2nd	19.0	3.9			2nd	22.0	7.2
		3rd	26.5	3.5			3rd	25.0	6.8

<70>

<71>

표 9 시험 배합 결과

Num	재령28일 압축강도 (MPa)	슬럼프(cm)		공기 량(%)	Num	재령28일 압축강도 (MPa)	슬럼프(cm)		공기 량(%)
61	494	1st	9.0	8.0	71	450	1st	6.0	5.3
		2nd	23.0	6.0			2nd	20.0	5.4
		3rd	24.0	5.2			3rd	24.0	5.2
62	478	1st	9.5	5.7	72	433	1st	4.0	4.0
		2nd	19.5	5.3			2nd	18.0	4.0
		3rd	23.5	2.4			3rd	26.0	3.8
63	461	1st	9.5	4.8	73	445	1st	8.0	6.0
		2nd	21.0	5.7			2nd	21.0	5.7
		3rd	24.0	5.5			3rd	25.0	5.7
64	477	1st	6.0	4.7	74	436	1st	8.5	6.2
		2nd	20.5	4.9			2nd	20.5	5.8
		3rd	25.5	4.9			3rd	24.5	6.1
65	471	1st	7.0	4.4	75	420	1st	7.0	4.2
		2nd	19.5	4.8			2nd	20.5	3.8
		3rd	24.5	5.0			3rd	25.0	2.9
66	450	1st	3.5	4.3	76	438	1st	7.5	4.3
		2nd	17.5	4.0			2nd	21.0	4.3
		3rd	24.0	3.9			3rd	24.5	4.1
67	460	1st	6.5	5.1	77	430	1st	6.5	3.7
		2nd	19.0	4.5			2nd	20.0	4.0
		3rd	23.5	4.6			3rd	24.5	4.1
68	457	1st	5.0	5.1	78	432	1st	8.0	4.8
		2nd	19.5	5.0			2nd	21.0	5.0
		3rd	24.0	5.3			3rd	24.5	5.2
69	451	1st	5.5	5.2	79	435	1st	9.5	5.4
		2nd	19.5	4.7			2nd	22.0	5.9
		3rd	23.0	4.7			3rd	24.0	5.2
70	460	1st	3.5	4.9	80	415	1st	8.5	4.1
		2nd	17.0	5.3			2nd	19.5	3.8
		3rd	22.0	4.9			3rd	23.0	3.9

<72>

<73>

(마) 고강도 콘크리트 최적배합비 도출

<74>

상기 시험 배합 결과를 바탕으로 본 실험에서 적용될 고강도 콘크리트의 최적배합비를 도출하였다. 물-결합재 비를 28%와 36%로 하였으며, 단위수량은 170kg/m^3 을 사용하였다. 잔골재율은 43%, 50%를 취하였으며, 앞서 언급한 바와 같이 슬럼프플로우 $50 \pm 5\text{cm}$ 와 공기량 $5.0 \pm 1.5\%$ 을 만족시키도록 혼화제를 혼입하였다. 본 실험의 주요 변수는 결합재의 종류로서 OPC, 플라이애쉬 10%(FA10), 20%(FA20) 치환, 고로슬래그 30%(BS30), 50%(BS50) 치환, 플라이애쉬 10%와 고로슬래그 40%(FA10BS40), 플라이애쉬 15%와 고로슬래그 35%(FA15BS35), 그리고 플라이애쉬 20%와 고로슬래그 30%(FA20BS30)를 동시에 치환한 3성분계가 사용되었다. 이 총 8배합에 대해 각각 역학적 특성평가 실험을 수행하였으며, 이 때 각 혼화제별 비교 평가를 위해 혼화제 치환율 이외의 구성재료에 대한 배합비는 모두 동일한 값을 갖도록 하였다. 표 10에 각 변수별 배합비를 정리하였으며, 또한 표 11에 각 배합별로 혼화제의 혼입량 및 굳지 않은 콘크리트의 물성 결과를 나타내었다. 고로슬래그를 포함한 배합인 BS30, BS50, 3성분 분계가 OPC와 FA10, FA20에 비해 적은 양의 고유동화제로도 소요의 슬럼프플로우를 얻어 낼 수 있었다.

<75>

표 10 변수별 배합 비

배합	W/B(%)	S/a(%)	Unit Weight(kg/m ³)					
			W	Cement	FA	BS	Fine Agg.	Coarse Agg.
OPC	0.28	43	170	607	-	-	676	910
FA10			170	546	61	-	667	898
FA20			170	486	121	-	658	885
BS30			170	425	-	182	668	900
BS50			170	304	-	304	663	892
FA10BS40			170	304	61	243	763	775
FA15BS35			170	304	91	213	759	771
FA20BS30			170	304	121	182	756	767
OPC	0.36	50	170	472	-	-	842	855
FA10			170	425	47	-	833	846
FA20			170	378	94	-	825	838
BS30			170	331	-	142	835	847
BS50			170	236	-	236	830	843
FA10BS40			170	236	47	189	824	836
FA15BS35			170	236	71	165	821	833
FA20BS30			170	236	94	142	818	830

<76>

<77>

표 11 배합별 혼화제 혼입량 및 물성치 (W/B 28%)

배합 ID	배치 ID	SP(%)	AE(%)	슬럼프플로우(cm)	공기량(%)
OPC	1	1.10	0.0030	52, 53	4.0
	2	1.60	0.0035	47, 45	6.8
	3	1.02	0.0035	48, 48	3.0
	4	1.02	0.0040	45, 46	3.2
FA10	1	1.20	0.0030	53, 54	3.5
	2	1.05	0.0040	50, 48	3.0
	3	1.00	0.0045	46, 46	3.0
	4	1.00	0.0050	46, 49	3.7
FA20	1	1.10	0.0030	55, 52	3.2
	2	1.05	0.0045	45, 44	6.0
	3	1.05	0.0045	41, 47	6.0
	4	1.25	0.0040	45, 45	5.0
BS30	1	0.95	0.0030	56, 57	3.2
	2	0.85	0.0035	50, 53	3.5
	3	0.85	0.0040	52, 52	4.5
	4	0.80	0.0045	48, 48	4.5
BS50	1	0.75	0.0030	46, 46	2.8
	2	0.80	0.0040	50, 48	4.5
	3	0.80	0.0045	54, 54	4.7
FA10BS40	1	0.7	0.0015	50, 52	3.0
	2	0.75	0.0015	65, 63	3.5
	3	0.8	0.0030	65, 65	7
	4	0.85	0.0015	66, 67	6.0
FA15BS35	1	0.85	0.0030	50, 51	3.5
	2	0.80	0.0045	56, 52	7.0
	3	0.90	0.0040	55, 53	6.0
	4	0.85	0.0035	53, 56	4.0
FA20BS30	1	0.75	0.0015	47, 48	3.0
	2	0.8	0.0030	50, 52	6.5
	3	0.85	0.0015	60, 60	4.5
	4	0.9	0.0035	65, 65	7

<78>

<79>

상기 표 11에 나타난 결과를 보면 물-결합재 비 28%의 경우는 유동화 콘크리트의 조건(표 12, 표 13 참고)에 못 미치는 성능을 가지는 것으로 판단되는데, 이는 물-결합재 비가 낮아짐에 따라 슬럼프 플로우의 제어가 용이하지 않았으며, 목표 슬럼프 이상의 발현을 위해서는 과도한 혼화제의 사용으로 골재 분리 가능성이 커질 것으로 고강도와 고유동성을 동시에 만족하기 위한 최적의 물-결합재 비는 36%에 가까울 것으로 판단된다.

현재 EFNARC SCC&JSCE Specification에서추천하는 Self-Compacting 콘크리트의 기준을 표 12와 표 13에 나타내었으며, 그 물성치를 목표로 물-결합제 비 36%의 실험을 진행하였다. 그 결과가 표 14에 제시된다.

표 12 각 실험별 배합 조건

	Method	unit	Min	Max
1	Slump-flow	mm	650	850
2	T _{5min} Slump-flow	mm	620	780
3	V-funnel	sec	6	12
4	V-funnel at T _{5min}	sec	6	15
5	U-box	mm	0	30

표 13 각 실험별 Property

	Method	Property
1	Slump-flow	Filling ability = Flowability
2	T _{5min} Slump-flow	Segregation resistance = Stability
3	V-funnel	Filling ability = Flowability
4	V-funnel at T _{5min}	Segregation resistance = Stability
5	U-box	Passing ability = Free from blocking at bar

표 14 배합별 혼화제 혼입량 및 물성치(W/B 36%)

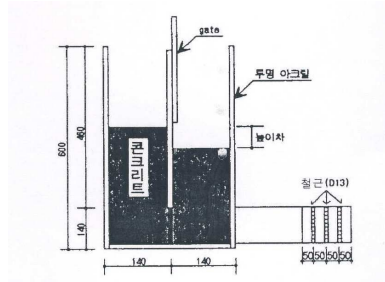
배합 ID	SP(%)	AE(%)	Slump flow		Slump flow 5min.		V-funnel	V-funnel 5min.	U-Box	공기량
OPC	1.4	0.0015	62	64	59	60	7.2	9.3	4.5	4.5
FA10	1	0.0015	60	56	56	56	5	6.6	1	4
FA20	1	0.0015	54	55	52	52	4.6	6.6	2	4
BS30	1	0.0015	64	61	59	60	5.4	8	3	5
BS50	0.9	0.0015	65	65	63	62	5.7	8	1	3
FA10BS40	0.75	0.0015	71	68	68	67	4.9	4.9	1	4.7
FA15BS35	0.7	0.0015	65	63	60	57	4.5	4.8	1.2	4.7
FA20BS30	0.8	0.0015	65	65	63	64	4.7	4.4	0.5	4.2

표 14의 결과를 참조하면 EFNARC SCC&JSCE Specification에서추천하는 Self-Compacting(자기충전) 콘크리트의 기준에는 OPC, FA10, FA20, BS30의 경우는 조건을 만족하지 않고 있음을 알 수 있으며, BS50의 경우는 조건을 만족하고 있으나, 3성분계 배합의 경우가 더 만족스러운 결과를 제시하고 있다.

일 예로 상기 표 14의 3성분계 배합의 경우 타 배합에 비해 고성능감수제량(SP)을 적게 사용하여도 Slump flow 등을 참조하면 유동성면에서 3성분계 배합이 더 큰 유동성을 나타내는 것을 알 수 있다.

또한, 충전성면에서도 U-BOX 시험치를 보면 3성분계 즉 FA10BS40, FA15BS35, FA20BS30이 더욱 우수함을 알 수 있다.

참고로 U-BOX 충전성 시험장치는 아래 그림과 같이 콘크리트가 철근을 통과하여 자중에 의해 충전되는 성능을 시험하기 위한 것이다.



<91>

<92>

이 장치는 견고한 아크릴판으로 중앙을 동일한 크기로 구분하고 칸막이 아래에 50mm간격으로 D13철근을 배근하여 중앙부 칸막이와 시험체에 고정시킨다. 또한 한쪽에 콘크리트를 채운 다음 중앙부 칸막이를 위로 들어 올리게 되면 하부의 철근을 통과한 콘크리트가 다른 한쪽의 시험체로 채워지는 것을 측정한다.

<93>

BOX충전성 시험은 시험체 한쪽에 채운 콘크리트가 칸막이를 열면 다른 한편으로 유입되어 채워지게 되며, 콘크리트의 유동이 정지된 상태에서 양 시험체의 높이차에 의해 압력차를 산출하며, 이를 통해 충전성 및 철근간극 통과성을 평가하게 된다. 이 방법은 비교적 간편하기 때문에 고성능 콘크리트의 배합조건을 산정하는데 효과적이다. 또한 압력차로 인한 충전성 검토와 아울러 양편의 콘크리트 시료를 채취하여 모르타르/골재의 체적비를 비교하면 간극통과로 인한 재료분리적 특성을 검토할 수 있다.

<94>

(바) 고강도 콘크리트의 역학적 성능 실험(굳은 콘크리트의 압축강도 실험)

<95>

① 실험 계획

<96>

상기에서 언급한 배합을 기초로 총 8개의 배합에 대해 압축강도에 대한 실험을 각각 수행하였는바, 거푸집 제거 시기 및 타설 후 강도에 대한 정확한 지표가 정해진 것이 아니기에 실험은 7일, 28일, 56일에 대한 실험을 수행하였는데, 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위해 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 제작하였으며, 항온항습실에서 24시간 양생한 후 물드를 제거하여 20℃의 수조에서 실험 전까지 수중 양생을 실시하였으며, 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405에 따라 실험을 실시하였다.

<97>

표 15 압축강도 및 탄성계수 실험 변수

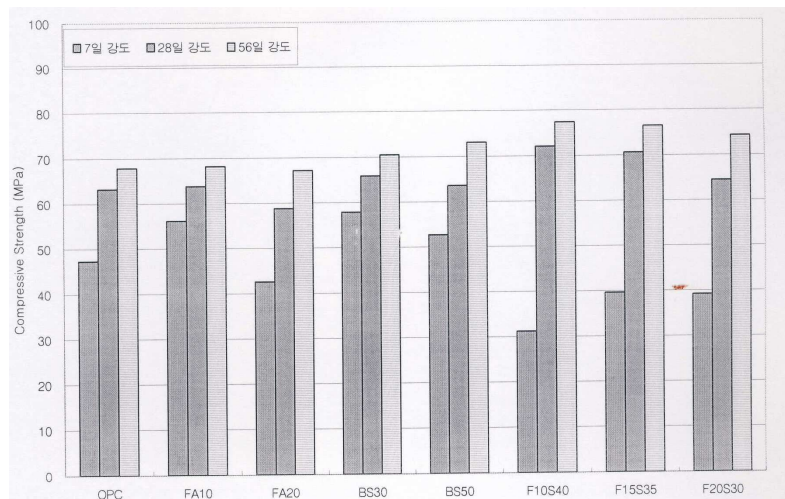
구 분	W/B	28일 설계강도(MPa)	혼화재 종류
OPC	0.36	50	OPC
FA10			FA 10 %
FA20			FA 20 %
BS30			BS 30 %
BS50			BS 50 %
FA10BS40			FA 10 % + BS 40 %
FA15BS35			FA 15 % + BS 35 %
FA20BS30			FA 20 % + BS 30 %

※ FA-fly ash BS-slag

<98>

<99>

② 실험 결과 및 분석



<100>

<101>

그림 8 재령별 압축강도(36%)

<102>

표 16 재령별 압축강도

구분	W/B	7days (MPa)	28days (MPa)	56days (MPa)
OPC	0.36	47.3	63.2	67.87
FA10		56.14	63.79	68.2
FA20		42.67	58.78	67.2
BS30		57.87	65.89	70.5
BS50		52.71	63.57	73.1
FA10BS40		31.27	72.1	77.4
FA15BS35		39.63	70.62	76.5
FA20BS30		39.2	64.48	74.3

<103>

<104>

기존 콘크리트 강도(24MPa)에 비하여 본 실험에서 콘크리트 강도는 세배 정도의 큰 강도를 보이는 바, 특히 본 발명에 있어 각각의 실시 예인 FA10BS40 FA15BS35, 및 FA20BS30의 경우가 타 시험체에 비해 강도면에서 우수한 것을 알 수 있다.

<105>

상기 굳지 않은 콘크리트 및 굳은 콘크리트에 대한 실험 결과에서 알 수 있듯이 본 발명의 각각의 실시 예 즉 물-결합재비를 36%로 구성하고, 혼화재의 치환율을 플라이애쉬 10%+고로슬래그40%, 플라이애쉬15%+고로슬래그35%, 및 플라이애쉬20%+고로슬래그30%로 각각 구성함에 의해 타 혼화재와 타 비율에 의한 치환율에 의해 조성되는 콘크리트에 비해 고강도가 달성됨은 물론 고유동성을 갖추게 되는 것이다.

발명의 효과

<106>

본 발명에 따른 매스콘크리트에 적용 가능한 콘크리트 조성물은 대형, 대단면 구조물에 적용되는 매스 콘크리트에 있어서 새로운 배합개념에 따라 고강도를 유지하면서 고유동성이 확보되는 장점이 있다.

<107>

또한, 혼화재로써 고로슬래그 및 플라이애쉬를 시멘트 대용으로 치환하여 사용하는 배합을 제시함으로써 친환경적이며, 경제적인 장점이 있다.

<108>

이상에서 설명한 본 발명의 상세한 설명에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술분야의 숙련된 당업자 또는 해당 기술분야에 통상의 지식을 갖는 자라면 후술될 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 기술영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

<109>

따라서, 본 발명의 기술적 범위는 명세서의 상세한 설명에 기재된 내용으로 한정되는 것이 아니라 특허청구범위에 의해 정하여져야만 할 것이다.