

流動化콘크리트에 관한 基礎研究

A Fundamental Study on the Superplasticized Concrete

文 翰 英*
Moon, Han Young

Abstract

It is well practised in the field of concrete engineering that the effort of improving the low slumped concrete and uplifting the quality of the soft concrete by adopting the superplasticizer.

In this paper, an attempt is made to find out the optimum mix design of the superplasticized concrete with an unit weight of cement 400 kg and the range of 19 ± 1 cm of slump by varying the sand percentage, unit water content and the dosage of superplasticizer.

As a result, the author obtained the basic idea on the optimum mix design and strength of superplasticized concrete.

On the other hand, it is also considered during the research the method of preventing the slump loss of the superplasticized concrete due to the delayed time after concrete mixing.

要 旨

콘크리트공학 분야에서는 뒤틀반죽콘크리트의 施工性を 改善하며 묽은반죽콘크리트의 品質向上을 위한 목적으로 流動化劑를 사용한 콘크리트에 관한 研究가 활발히 進行되고 있다.

本 論文에서는 단위시멘트량 400 kg, 슬럼프 19 ± 1 cm의 범위에 있는 유동화콘크리트의 最適配合를 구하기 위하여 잔골재율, 단위수량 및 유동화제의 사용량을 변화시킨 콘크리트에 대하여 굳지않은 콘크리트 및 경화한 콘크리트의 諸 性質로써 비교 검토하였다. 또한 이 실험에서 구한 流動化콘크리트와 동일 슬럼프의 묽은 반죽콘크리트, 그리고 베이스콘크리트의 제 성질을 비교 고찰해 봄으로써 유동화콘크리트의 배합 및 강도 등에 관한 有益한 基礎資料를 얻었다. 한편 유동화콘크리트의 시공시 문제점으로 지적되고 있는 믹싱후 經過時間에 따른 슬럼프低下의 防止에 대해서도 고찰 했다.

1. 序 論

최근 천연골재의 고갈로 인한 골재의 品質低下, 철근의 過密配置 및 펌프콘크리트의 보급 등으로 인하여 단위수량, 단위시멘트량이 큰 묽은 반죽콘크리트를 타설하는 경향이 크게 늘어 나

므로써 品質面에서 龜裂發生, 耐久性の 低下 등과 같은 問題點이 惹起되고 있다. 한편 레디믹스트콘크리트와 같이 콘크리트 믹싱후 타설시까지 어느 시간이 경과하는 콘크리트의 경우 시멘트의 水和作用의 進行, 空氣泡의 消滅 등에 의하여 워어커빌리티가 저하하므로 타설시 소요의 워어커빌리티를 유지하기 위하여 물을 추가하여 다시 비비는 경우가 있으며 이로 인하여 콘크리

* 正會員 · 漢陽大學校 工科大學 敎授
現 : 東京工業大學 工學部 土木工學科(客員研究員)

트의 품질이 크게 손상을 입게된다. 이러한 문제점을 해결하고자 分散性이 우수한 特殊混和劑를 사용하여 콘크리트의 流動性을 일시적으로 增大시켜 동일 단위수량에도 불구하고 풍부한 施工性を 가지도록 만든 콘크리트를 流動化콘크리트 (superplasticized concrete, flowing concrete)라 한다⁽¹⁾.

流動化콘크리트에 사용되는 유동화제는 종래의 콘크리트용 界面活性劑와는 효과가 다르기때문에 비교적 많이 사용하여도 凝結遲延作用, 硬化不良, 空氣量의 過剩進行을 일으키지 않으며, 大幅的인 減水效果 또는 流動性의 增進效果가 있어⁽²⁾ 다음과 같은 용도에 사용되고 있다.

된반죽으로 시공되는 土木分野의 콘크리트에 사용하는 경우, 붉은반죽콘크리트와 같은 良好한 시공성을 가지면서 된반죽콘크리트의 품질을 유지할 수 있으며⁽³⁾, 建築分野와 같이 비교적 붉은반죽콘크리트에 사용하는 경우에는⁽⁴⁾ 시공성 개선보다는 붉은반죽콘크리트의 워어커빌리티를 유지하면서 된반죽에 匹敵하는 품질의 콘크리트를 얻을수 있는 장점이 있다.

이러한 장점 때문에 서독에서는 1974년 流動化콘크리트의 製造와 施工에 관한 指針이 만들어 졌으며⁽⁵⁾, 영국에서도 유동화콘크리트에 관한 報告書⁽¹⁾가 완성 되었고, 1978년과 1981년에는 캐나다에서 2차례에 걸친 국제심포지움이 개최되어⁽⁶⁾ 유동화콘크리트에 관한 연구성과 및 사용실적⁽⁷⁻¹¹⁾ 등이 관심을 끌게 되었다.

그러나 유동화콘크리트는 역사가 짧고 現場에

應用된 실적도 초기단계에 지나지 않으며, 세계 각국에서 사용되고 있는 用語나 定義 등이 통일되지 않고 있으며 종래의 콘크리트공법과 같이 널리 보급되기 위해서는 해결해야 할 問題點들이 많이 남아 있다⁽¹²⁾.

필자는 流動化콘크리트 工法에 관한 메커니즘을 깊이 이해하고 유동화콘크리트의 문제점들을 해결하기 위한 研究의 一環으로 초보단계의 실험을 계획했다.

먼저 연구의 실적이 비교적 적다고 생각되는 단위시멘트량 400 kg을 선택하여 압축강도 500 kg/cm², 슬럼프 19±1 cm를 목표로 유동화콘크리트의 最適配合比 및 基礎資料를 얻기 위하여 잔골재율, 단위수량 및 유동화제의 사용량을 변화시킨 16배합의 콘크리트에 대하여 고찰했다. 그리고 유동화콘크리트와 동일한 슬럼프값의 붉은반죽콘크리트와 베이스콘크리트의 제 성질을 비교 고찰 하였다.

또한 유동화콘크리트는 製造, 施工條件에 따라 슬럼프저하의 정도가 달라지는 등 流動化콘크리트의 사용상의 제약을 받는점^(13,14)에 대한 對策에 대해서도 고찰했다.

2. 實驗概要

2-1 사용재료

(1) 시멘트

사용시멘트는 보통 포틀랜드시멘트로서 화학 성분 및 물리적성질은 표·1 및 표·2와 같다.

표 1. 시멘트의 화학성분 성과표

화 학 성 분 (%)									비 율 계 수				
ig. loss	in. sol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	total	H.M.	A.I.	S.M.	I.M.	L.S.D.
0.6	0.3	21.8	5.2	3.1	64.5	1.4	2.1	99.0	2.09	4.2	2.6	1.7	0.91

표 2. 시멘트의 물리적 성질

비중	비 표 적 (cm ² /g)	응 결					안정성 (제비 방법)	flow 값 (mm)	휨강도(kg/cm ²)			압축강도(kg/cm ²)		
		온도 (°C)	습도 (%)	수량 (%)	시 발 (시, 분)	종 결 (시, 분)			3일	7일	28일	3일	7일	28일
3.16	3210	20.8	91	28.3	2-31	3-55	양	266	33	47	66	148	225	406

(2) 골재

사용한 잔골재는 富士川産 모래로서 No. 4체를 통과한 비중 2.62, 조립율 2.90이다. 굵은 골재는 奥多摩産의 부순돌로서 20mm체를 통과하여 No.4체에 남는 것으로서 입도를 No.4~13mm, 13~20mm로 분류하여 1:1의 비율로 섞어 사용하였으며 비중 2.65, 조립율 6.62이다. 골재의 입도분포는 그림 1과 같다.

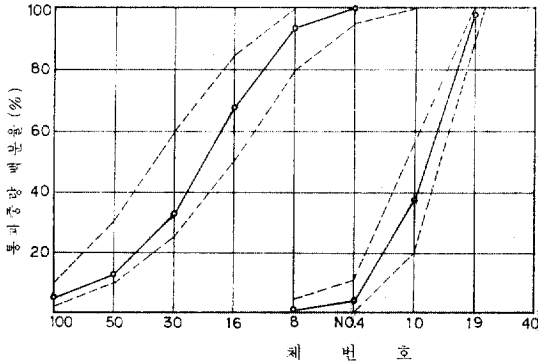


그림 1. 골재의 입도분포

(3) AE제

공기연행제인 AE제는 陰이온계 界面活性劑의 일종으로 vinsol resine을 원료로 가성소오다를 中和하여 만든 暗褐色의 액체인 빈졸(이하 AE로 약함)을 사용하였다. 본 실험에서는 공기량 4±0.5%를 목표로 했기 때문에 빈졸 사용량을 시멘트 중량에 대하여 0.03%로 정했다.

(4) 流動化劑

유동화제(superplasticizer or superplasticizing admixture)는 과거에 일반적으로 사용해 오던 콘크리트용 界面活性劑와는 효과가 다르기 때문에 많이 사용하여도 응결지연작용, 경화불량, 공기량의 과잉연행등을 일으키지 않기 때문에 비교적 많이 사용하므로써 대폭적인 減水效果 또는 流動性的 增進效果를 나타내는 장점이 있다⁽²⁾. 유동화제는 化學組成에 의하면 메라민 설폰산염 縮合物, 나프타린 설폰산염 縮合物 및 變形리그닌 설폰산염 그리고 기타의 4종류로 구분된다⁽¹⁾.

본 실험에 사용한 유동화제는 나프타린 설폰

산염을 주성분으로 하는 Mighty FD(이하 SP로 약함)이며 일반적성질은 다음과 같다. 비중 1.2±0.01, 固形分 40±2%, pH 10±1(5%).

2-2 실험기구 및 방법

(1) 믹서 및 믹싱방법

콘크리트 믹서는 회전주축에 교반날개가 3개 붙어 있으며 주축의 회전수 76rpm, 용량 50ℓ인 사진 1과 같은 강제식믹서를 사용했다.

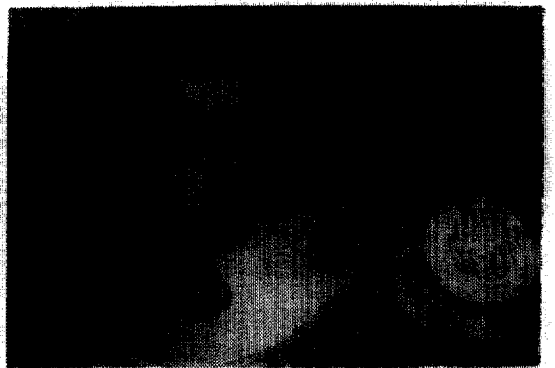


사진 1. 강제식 콘크리트 믹서

콘크리트의 믹싱은 굵은골재 잔골재 시멘트 순으로 재료를 투입 한 후 30초정도 혼합한 다음 물을 가하여 1분 30초 믹싱한 것은 묽은반죽 또는 된반죽콘크리트(여기서는 베이스 콘크리트라 함)이며, 베이스 콘크리트를 15분 또는 30분간 靜置 한후 유동화제를 첨가하여 다시 1분 30초 믹싱 한 것이 유동화 콘크리트이다.

(2) 워어커빌리티 시험

굳지않은 콘크리트의 반죽질기는 KSF 2402에

의한 슬럼프시험을 실시했다.

(3) 공기량

굳지않은 콘크리트의 空氣室壓力方法에 의하여 공기량을 측정했다.

(4) 블리이딩 시험

굳지않은 콘크리트의 블리이딩 시험은 용적 9910 cm³, 용기높이 21.9 cm의 금속제 원통에 시료를 채우고 수분이 증발하지 않도록 뚜껑을 덮어 소정시간에 피펫트로써 상부의 물을 채취 측정하여 블리이딩율을 구했다.

$$\text{블리이딩 율} = \frac{V \times W}{\omega \times S} \times \frac{1}{10}$$

V : 블리이딩 양 (cm³)

W : 1 m³ 당 콘크리트의 총중량 (kg)

ω : 1 m³ 당 콘크리트의 수량 (kg)

S : 시료의 중량 (kg)

(5) 강도시험

강도시험은 φ 10×20 cm 원주형 공시체를 성형 1일후 脫型하여 20±1°C 수중에서 양생하고 재령 7일과 28일에 연마기로 표면을 다듬은 후 공시체의 직경, 높이 및 중량을 측정하고 동탄성계수와 강도시험을 실시했으며 압축강도는 공시체 4개의 평균값으로 나타내었다.

(6) 동탄성계수 시험

동탄성계수 시험은 공시체 양단에서 초음파 pulse를 보내어 傳播時間을 측정하여 縱波速度를 구하는 共振法에 의한 非破壞試驗器를 사용하였으며 (사진 2 참조) 傳播速度를 전파시간으로 산출하여 동탄성계수를 구했다.

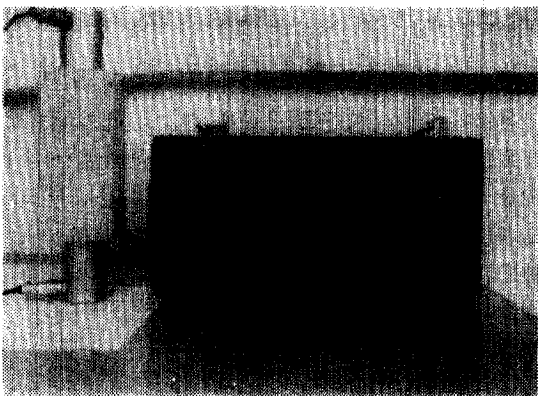


사진 2. 동탄성계수 측정장치

$$E_D = V_i^2 \cdot \frac{1}{g} \cdot \rho \times 10^7$$

$$V_i = \frac{L}{t} \times 10$$

E_D : 동탄성계수 (kg/cm²)

V_i : 전파속도 (km/sec)

t : 전파시간 (μsec)

L : 거리 (cm)

g : 중력의 가속도 (980cm/sec²)

ρ : 밀도 (g/cm³)

2-3 콘크리트의 배합

콘크리트의 배합은 단위시멘트량 400 kg에 대하여 목표 슬럼프값 19±1 cm의 묽은반죽콘크리트(soft concrete라 함)와 8±1 cm의 뒤틀반죽콘크리트(base concrete라 함)를 구하기 위하여 잔골재율 39, 42, 45 및 48%의 4단계로 변화시킨 8배합의 물시멘트비를 결정했다. 다음으로 목표 슬럼프 19±1 cm의 유동화 콘크리트(flowing concrete라 함)의 배합을 결정하기 위하여 위의 4종류 베이스콘크리트에 유동화제를 시멘트량의 0.15%, 0.25% 및 0.35%의 3단계로 첨가하였다.

위의 12배합 실험결과 목표 슬럼프값 19±1 cm에 가장 접근 한다고 판단되는 유동화제의 사용량(C×0.28%)에 대한 4배합을 포함한 총 24배합에 대하여 실험을 실시했으며 이들 배합은 표 3과 같다.

3. 實驗結果

3-1. 굳지않은 콘크리트의 제 성질에 대한 실험결과
 믹싱 직후 굳지않은 콘크리트의 온도를 20±1°C로 일정하게 하기 위하여 수온을 조절하였으며, 콘크리트 온도, 슬럼프공기량 및 블리이딩을 측정한 실험결과는 표 4와 같다.

3-2. 경화한 콘크리트의 강도시험결과

경화한 콘크리트의 재령 7일 및 28일의 압축강도, 밀도 및 동탄성계수를 측정한 실험결과는 표 5와 같다.

3-3. 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 및 블리이딩에 대한 실험결과

굳지않은 콘크리트를 믹싱후 믹서에서 배출하여 수분이 증발하지 않도록 정지상태로 보관하

표 3. 콘크리트의 배합표

No.	Kind	Gmax. (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	AE (%)	SP (C× %)	Unit weight (kg/m³)			
									W	C	S	G
1	soft concrete	20	19±1	4±0.5	48.5	39	0.02	0	194	400	692.8	1091.8
2		"	"	"	49.5	42	"	"	198	"	7411.6	1031.9
3		"	"	"	50.5	45	"	"	202	"	789.9	972.7
4		"	"	"	52.0	48	"	"	208	"	834.9	911.4
5	base concrete	20	8±1	4±0.5	42.0	39	0.03	0	168	400	729.7	1150.1
6		"	"	"	43.0	42	"	"	172	"	770.3	1071.9
7		"	"	"	44.5	45	"	"	178	"	818.3	1007.8
8		"	"	"	46.0	48	"	"	184	"	865.2	944.5
9	flowing concrete	20	19±1	4±0.5	42.0	39	0.03	0.28	168	400	729.7	1150.1
10		"	"	"	43.0	42	"	"	172	"	770.3	1071.9
11		"	"	"	44.5	45	"	"	178	"	818.3	1007.8
12		"	"	"	46.0	48	"	"	184	"	865.2	944.5
13	flowing concrete	20	—	4±0.5	42.0	39	0.03	0.15	168	400	729.7	1150.1
14		"	—	"	43.0	42	"	"	172	"	770.3	1071.9
15		"	—	"	44.5	45	"	"	178	"	818.3	1007.8
16		"	—	"	46.0	48	"	"	184	"	865.2	944.5
17	flowing concrete	20	—	4±0.5	42.0	39	0.03	0.25	168	400	729.7	1150.1
18		"	—	"	43.0	42	"	"	172	"	770.3	1071.9
19		"	—	"	44.5	45	"	"	178	"	818.3	1007.8
20		"	—	"	46.0	48	"	"	184	"	865.2	944.5
21	flowing concrete	20	—	4±0.5	42.0	39	0.03	0.35	168	400	729.7	1150.1
22		"	—	"	43.0	42	"	"	172	"	770.3	1071.9
23		"	—	"	44.5	45	"	"	178	"	818.3	1007.8
24		"	—	"	46.0	48	"	"	184	"	865.2	944.5

표 4. 굳지않은 콘크리트의 제성질 시험결과

No.	종 류	온도 (°C)	슬럼프값 (cm)	공기량 (%)	블리딩율 (%)	중량 (g/cm³)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	soft concrete	20.0	19.0	4.8	3.62	2.280	19.5	13.0	3.3	1.54	2.386							
2		22.0	20.2	4.6	3.66	2.291	18.0	13.8	3.0	1.64	2.378							
3		21.0	21.3	4.6	4.76	2.286	19.0	14.8	3.5	1.81	2.366							
4		19.5	21.5	4.5	4.85	2.273	18.5	16.0	3.5	2.01	2.361							
5	base concrete	20.5	7.0	4.6	1.78	2.361	20.0	18.3	2.6	2.06	2.387							
6		19.0	7.3	4.2	1.97	2.337	18.5	17.7	2.9	2.75	2.411							
7		21.0	8.0	4.2	2.19	2.325	21.0	18.8	2.8	2.67	2.391							
8		22.0	8.0	4.6	2.82	2.305	19.5	19.6	3.5	3.26	2.365							
9	flowing concrete	20.0	19.0	2.7	2.27	2.424	20.5	21.5	2.5	3.12	2.402							
10		21.5	20.8	2.7	2.37	2.391	19.0	21.0	2.8	3.78	2.416							
11		21.0	21.2	2.9	3.59	2.380	20.5	21.5	2.6	3.96	2.406							
12		20.0	22.0	3.3	3.84	2.358	19.0	22.5	3.5	4.71	2.372							

표 5. 경화한 콘크리트의 강도시험결과

No.	종 류	재 령 7 일			재 령 28 일		
		압축강도 (kg/cm ²)	밀도 (g/cm ³)	동탄성계수 (kg/cm ²) ×10 ⁵	압축강도 (kg/cm ²)	밀도 (g/cm ³)	동탄성계수 (kg/cm ²) ×10 ⁵
1	soft concrete	258	2.32	3.735	407	2.34	3.990
2		278	2.35	—	416	2.35	4.196
3		253	2.34	—	381	2.34	4.168
4		228	2.31	—	360	2.31	3.949
5	base concrete	358	2.36	4.044	474	2.39	4.305
6		399	2.38	—	519	2.39	4.462
7		395	2.30	—	510	2.38	4.416
8		361	2.34	—	481	2.36	4.268
9	flowing concrete	391	2.41	4.268	526	2.42	4.414
10		415	2.42	—	556	2.42	4.666
11		398	2.41	—	529	2.41	4.623
12		374	2.40	—	513	2.40	4.539
13	flowing concrete	378	2.41	4.156	512	2.40	4.394
14		385	2.39	4.186	567	2.41	4.581
15		367	2.38	4.148	504	2.39	4.530
16		350	2.37	4.032	484	2.38	4.422
17	flowing concrete	358	2.41	4.319	494	2.41	4.457
18		405	2.41	4.296	561	2.41	4.680
19		356	2.39	4.169	496	2.40	4.522
20		345	2.38	4.126	473	2.38	4.471
21	flowing concrete	362	2.43	4.432	463	2.42	4.462
22		391	2.42	4.296	530	2.42	4.664
23		362	2.40	4.201	483	2.41	4.572
24		328	2.38	4.097	448	2.39	4.488

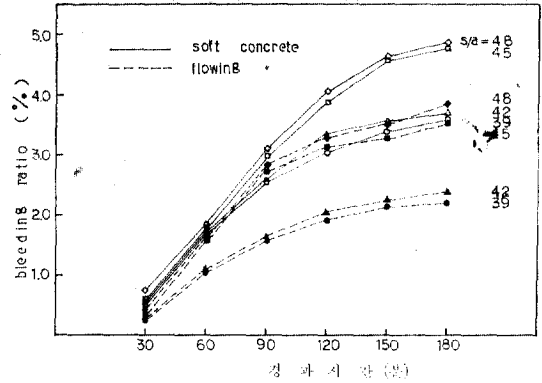


그림 3. 믹싱후 경과시간에 따른 블리이딩율의 변화
여 3 시간동안 30분 간격으로 경과시간에 따른 슬럼프 및 블리이딩시험을 실시한 결과를 정리한 것이 그림 2 와 그림 3 이다.

4. 實驗結果에 대한 考察

4-1. 流動化콘크리트의 最適잔골재율에 대한 고찰
굳지않은 콘크리트의 소요의 위어커빌리티와 경화한 콘크리트의 강도, 건조수축 및 내구성 등을 만족시키는 범위에서 잔골재율을 가능한 한 적게 취함이 바람직하며, 이 최소잔골재율을 일반적으로 최적잔골재율이라 한다⁽¹⁵⁾. 유동화콘크리트의 적정 잔골재율을 알아보기 위하여 단위시멘트량 400 kg 의 베이스콘크리트에 유동화제의 사용량과 잔골재율, 단위수량을 변화시킨 실험을 실시하여 고찰하고자 한다. 먼저 슬럼프값 8±1 cm 를 목표로 베이스콘크리트의 물시멘

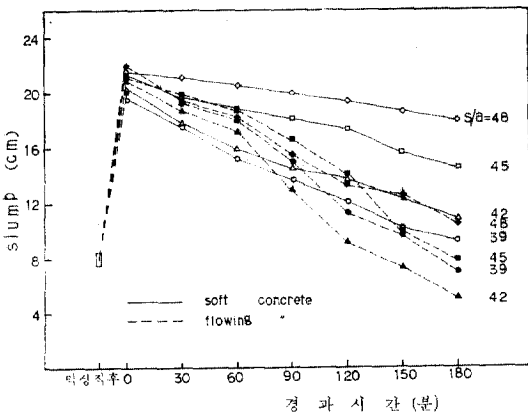


그림 2. 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프값의 변화

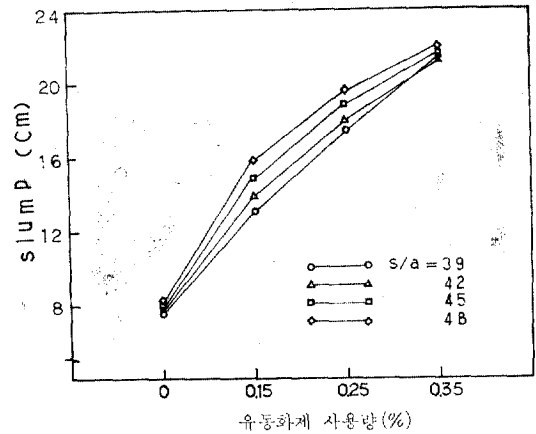


그림 4. 유동화제의 사용량과 잔골재율의 변화에 따른 슬럼프값의 변화

트비를 구한것이 각각 42, 43, 44.5 및 46%이며 슬럼프값 19±1cm에 해당하는 붉은반죽콘크리트와 유동화콘크리트의 물시멘트비를 구한 것이 표 3이다. 베이스콘크리트에 유동화제를 3단계 사용한 콘크리트와 베이스콘크리트의 슬럼프값을 잔골재율에 의하여 정리한 것이 그림 4이다.

이 그림에서 유동화콘크리트의 목표슬럼프값을 만족시키는 잔골재율은 유동화제의 사용량에 따라 다소 다르지만 유동화제의 사용량은 0.26~0.28%의 범위에 있음을 알 수 있다. 단, 잔골재율이 클수록 동일 유동화제의 사용량에 대한 슬럼프값이 얼마간 큰 영향을 나타내었다. 재료분리와 관련하여 생각할 수 있는 블리이딩량을 측정된 결과를 나타낸 것이 그림 5로써 유동화제 0.15%에서 블리이딩율은 베이스콘크리트보다 오히려 적으며, 잔골재율 39%에서 제일 작은 값을 나타내었으며 잔골재율이 커질수록, 유동화제의 사용량이 증가할수록 블리이딩율이 증가함을 알 수 있다.

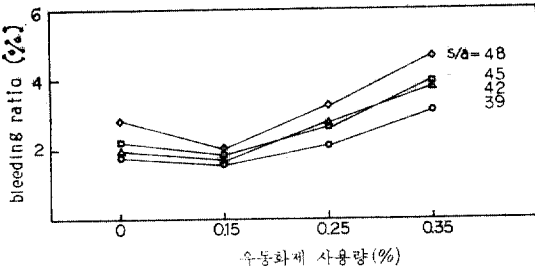


그림 5. 유동화제의 사용량과 잔골재율의 변화에 따른 블리이딩율의 변화

이는 잔골재율이 증가하는데 따라 물시멘트비가 증가하는 원인으로 생각되므로 잔골재율은 적은 값을 취함이 바람직하다. 이번에는 유동화콘크리트의 공기량에 대하여 검토하고자 한다. 일반적으로 유동화콘크리트의 공기량은 베이스콘크리트에 사용한 혼화제와 유동화제의 종류에 따라 변동한다고 하며, 베이스콘크리트의 공기량과 거의 같은 경우도 있다고 하나, 교환후 점차 감소하는 경향을 나타낸다고 한다⁽¹⁶⁾. 여기서는 굳지않은 콘크리트의 워어커빌리티, 경화한 콘

크리트의 耐久性을 고려해서 공기량 4±0.5%를 목표로 하였으며, 굳지않은 콘크리트의 공기량과 단위용적증량을 정리한 것이 그림 6이다.

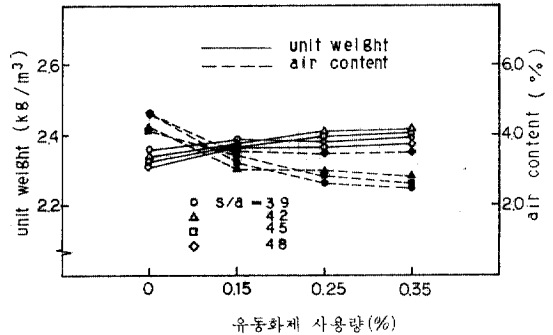


그림 6. 유동화제의 사용량과 잔골재율의 변화에 따른 공기량과 단위용적증량과의 관계

유동화콘크리트의 공기량은 잔골재율의 변화에 관계없이 유동화제의 사용량의 증가에 따라 약 1.5% 감소하는 경향을 나타내었다. 반면 유동화콘크리트의 단위용적증량은 잔골재율이 작을수록, 유동화제의 사용량이 클수록 약간 큰 경향을 나타내었다. 위의 굳지않은 콘크리트의 제성질에 대한 결과만을 고려한다면 잔골재율은 작은 값을 취할수록 유리하다고 하겠다. 이번에는 베이스콘크리트와 유동화콘크리트의 압축강도와 동탄성계수를 잔골재율과 유동화제의 사용량에 대하여 검토하고자 정리한 것이 그림 7과 그림 8이다.

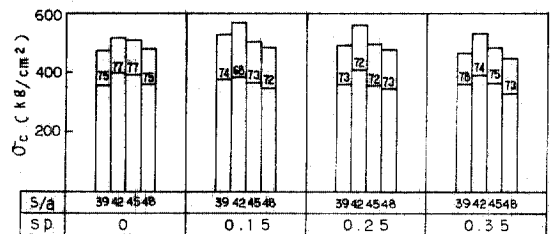


그림 7. 유동화제의 사용량과 잔골재율의 변화에 따른 압축강도의 비교

이들 그림에서 압축강도와 동탄성계수는 다같이 유동화제의 사용량에 관계없이 잔골재율 42%에서 가장 큰 값을 나타내었으며 잔골재율 39

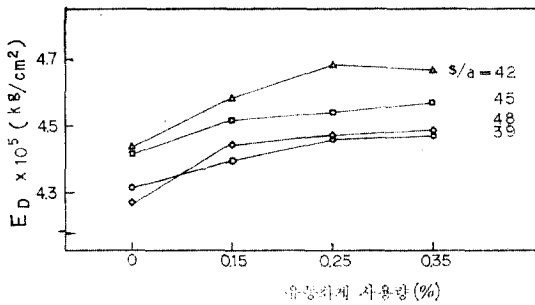


그림 8. 유동화제의 사용량과 잔골재율의 변화에 따른 동탄성계수의 비교

%의 동탄성계수가 제일 작은 값을 나타내었다. 이상의 시험결과 굳지않은 콘크리트 및 경화한 콘크리트의 제 성질을 만족시키는 유동화콘크리트의 적정잔골재율이 존재함을 알 수 있다. 다시말해서 적절한 워어커빌리티의 유동화콘크리트를 얻기 위해서는 보통 된반죽콘크리트보다 많은 잔골재량이 필요하다고 하며⁽¹⁾, 보통 된반죽콘크리트의 배합을 그대로 사용하면 잔골재량이 부족하여 분리하기 쉽다고 한다⁽¹²⁾. 그래서 슬럼프값 7.5 cm 정도의 베이스콘크리트의 배합시 보통 콘크리트 보다 잔골재율을 4~5% 정도 크게 취해야 한다고 한다⁽¹⁶⁾.

본 실험의 범위에서도 유동화콘크리트용 잔골재율은 보통 된반죽콘크리트보다 큰 값에 상당하는 42% 정도가 적당할 것으로 판단된다.

4-2. 流動化劑의 添加方法 및 最適使用量에 대한 高찰

유동화제의 첨가방법, 첨가시기 및 첨가후의 교반시간 등의 제 요인들은 유동화콘크리트의 슬럼프의 저하현상을 비롯한 제 성질에 크게 영향을 미친다고 한다. 유동화제의 첨가방법에는 종래의 혼화제와 마찬가지로, 다른 재료들과 같이 섞어 사용하는 同時添加方法과 유동화제를 제외한 다른 재료들을 먼저 믹싱한 다음, 나중에 유동화제를 첨가하는 방법(後添加方法이라고 함)으로 구분하며, 콘크리트의 流動化效果는 後添加方法 또는 遲延添加方法에 의한 反復添加(repeat dosing) 또는 分割添加方法(multiple dosing)이 효과가 크다고 한다⁽¹⁸⁾. 한편 유동화제의 添加時期도 베이스콘크리트의 믹싱직후보다 어느 시간이 경과한 다음 첨가하는 것이 효과가 다소 크다고 하며⁽¹⁹⁾, 60분 정도까지는 첨가시기에 의

한 영향은 작다고 한다^(20~22).

본 실험에서는 유동화제의 적정사용량을 파악하기 위하여 예비실험 결과를 토대로 믹싱후 靜置 15분에 後添加方法을 채택했다.

그림 4는 유동화제의 사용량과 슬럼프값과의 관계를 나타낸 것으로서 유동화제의 사용량에 따라 거의 비례하여 워어커빌리티가 증가하지만 슬럼프값 22 cm 정도부터 둔화되며 퍼져 흐르기 때문에 슬럼프 시험으로 측정이 곤란하고 부적당 하였으며 이때 골재와 시멘트풀의 분리현상이 현저해 짐을 알 수 있었다. 이런 단계의 유동화콘크리트는 보통 뚱은반죽콘크리트보다 오히려 결합이 생기기 쉽다고 한다⁽¹²⁾. 이 그림에서 유동화제 0.1% 사용하는데 따른 슬럼프값은 잔골재율에 따라 다소 다르지만 약 4 cm 정도 증대시키는 효과가 있음을 알 수 있었다. 그리고 슬럼프값 19±1 cm의 뚱은반죽콘크리트에 비교해서 粘性은 크지만 진동에 의하여 유동성이 좋아지는 성질을 나타냄을 알 수 있었다.

그림 5와 그림 6에 의하면 유동화제의 사용량이 증가하는데 따라 블리딩율과 단위용적중량은 증가하지만 공기량은 상당량 감소하였으며 단위용적중량의 증가는 공기량의 감소에 起因된다고 생각된다. 이번에는 유동화제의 사용량에 따른 압축강도와 관계를 나타낸 것이 그림 7이다. 잔골재율에 관계없이 유동화제의 사용량이 적은 0.15%에서 압축강도가 제일 큰 값을 나타내었다. 이는 강도면에서도 유동화제의 적정 사용량이 존재함을 의미한다고 볼 수 있다. 그러나 동탄성계수는 압축강도와 달리 그림 8에서와 같이 유동화제의 사용량(SP=0.35%)의 증가에 따라 얼마간 증가하는 경향을 나타내었다.

이상의 실험결과를 정리해 보면 유동화콘크리트의 유동화제의 적정 사용량은 시멘트중량에 대하여 0.26~0.28% 정도로 생각된다.

4-3. 流動化콘크리트의 配合 및 強度에 대한 高찰

(1) 유동화콘크리트의 배합에 대하여

유동화콘크리트의 배합은 작업에 알맞는 풍부한 流動性和 소요의 강도 및 내구성 그리고 유동화콘크리트에 요구되는 소요의 성능을 만족시킬 수 있도록 정해야 한다. 여기서는 앞에서 구한 유동화제의 적정사용량으로 생각되는 0.28%

의 유동화콘크리트와 묽은반죽콘크리트 및 베이스콘크리트(배합표의 No.1~No.12)의 제성질을 비교함으로써 유동화콘크리트의 적정배합에 대하여 고찰하고자 한다. 굳지않은콘크리트의 블리이딩율을 3종류의 콘크리트에 대하여 정리한 것이 그림 9이며, 묽은반죽콘크리트와 유동화콘크리트의 블리이딩율을 3시간동안 측정된 것이 그림 3으로서 잔골재율에 따른 블리이딩율의 차이가 큰 것을 알 수 있다. 그림 9에 의하면 동일 슬럼프값의 묽은반죽콘크리트에 비교해서 유동화콘크리트의 블리이딩량이 약 70% 전후로서 柿崎⁽²³⁾의 실험결과 50~70%에 유사함을 알 수 있으며, 베이스콘크리트의 블리이딩율과는 일반적으로 비슷하다고 하나 본 실험에서는 유동화콘크리트의 블리이딩율이 약간 크게 나타났으며 잔골재율 45, 48%에서 그 차이가 큰 것을 알 수 있다.

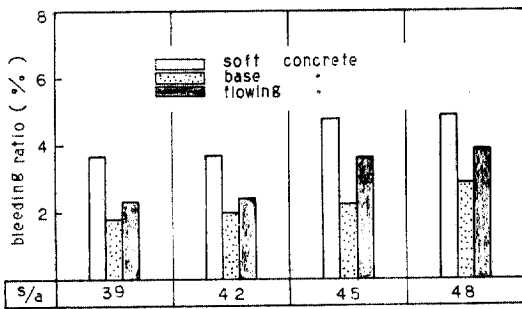


그림 9. 굳지않은 콘크리트의 블리이딩율의 비교

굳지않은 콘크리트의 공기량과 단위용적중량을 비교한 것이 그림 10이며, AE제 사용량이 동일함에도 불구하고 유동화콘크리트의 공기량이 묽은반죽콘크리트나 베이스콘크리트보다 약 1.5% 전후의 작은 값을 알 수 있다. 그 이유

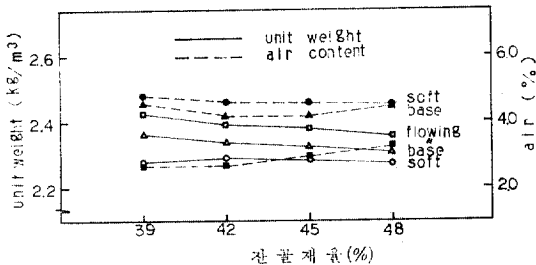


그림 10. 잔골재의 변화에 따른 굳지않은콘크리트의 공기량과 단위용적중량과의 관계

로서는 재믹싱, 믹싱후 경과시간에 따른 공기포의 自然消滅 등으로 인한 결과로 생각된다.

이번에는 경화한 콘크리트의 압축강도와 동탄성계수를 비교한 것이 그림 11과 그림 12이다. 그림 11의 유동화콘크리트의 재령 7일 압축강도가 베이스콘크리트와 비슷하나 재령 28일 압축강도는 약간 큰 값을 나타내며, (그림속의 숫자는 재령 28일 강도 100에 대한 재령 7일 강도 비임) 잔골재율 42%에서 3종류의 콘크리트가 모두 최대치를 나타내었다. 동탄성계수도 유동화콘크리트가 가장크며, 잔골재율 42%에서 피크를 나타내었다.

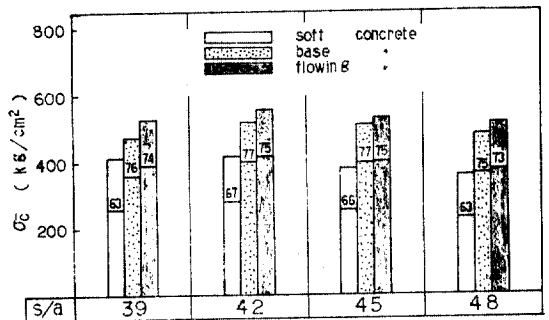


그림 11. 경화한 콘크리트의 압축강도의 비교

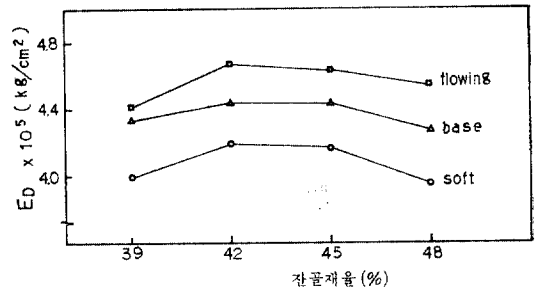


그림 12. 경화한 콘크리트의 잔골재율에 따른 동탄성계수의 비교

배합표의 No.1~4와 No.9~12에서 알 수 있듯이 동일 슬럼프값을 얻기 위하여 유동화콘크리트의 단위수량이 묽은반죽콘크리트의 단위수량보다 약 12% 감소 함을 알 수 있다. 지금까지의 실험결과를 토대로 단위시멘트량 400 kg, 재령 28일 압축강도 500 kg/cm² 정도를 만족시키는 유동화콘크리트의 최적배합을 결정했것이 표 5이다.

표 5. 유동화콘크리트의 추천배합표

G _{max} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	AE (%)	SP (C×%)	C (kg)	첨가방법	첨가시기 (분)
20	19±1	3±0.5	43	42	0.03~0.035	0.26~0.28	400	後添加	15~30

(2) 유동화콘크리트의 강도에 대하여

유동화제 첨가 전후의 압축강도에 관한 연구 보고는 비교적 많으며, 대부분의 연구성과가 유동화제의 첨가 전후의 양자의 압축강도에 큰 차이가 없다고 하나⁽²⁵⁾, 첨가후의 압축강도가 첨가전보다 감소되었다는 보고도 있다^(26,27).

본 실험에서 구한 압축강도와 동탄성계수는 이

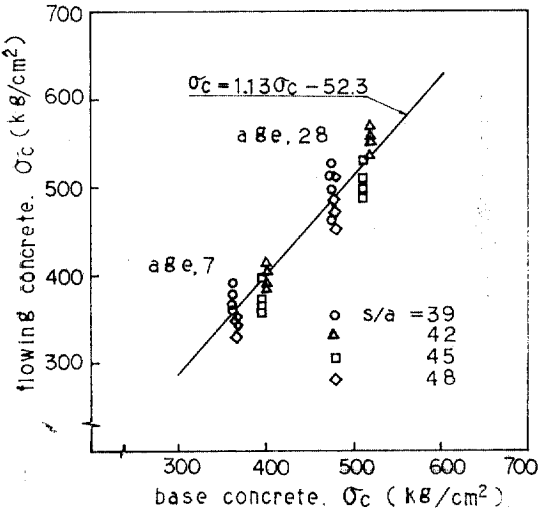


그림 13. 베이스콘크리트의 압축강도와 유동화콘크리트의 압축강도와의 관계

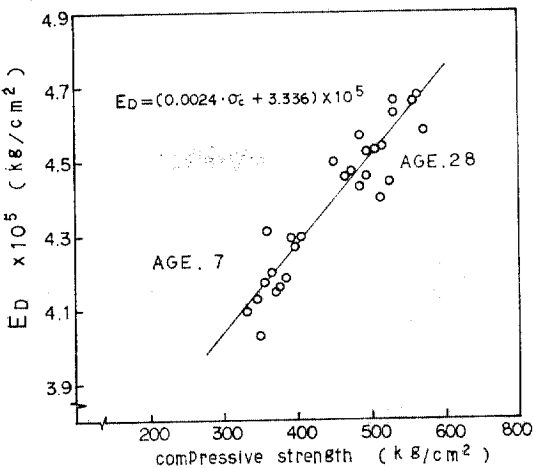


그림 14. 유동화콘크리트의 압축강도와 동탄성계수와의 관계

미 그림 7 및 그림 11과 그림 8 및 그림 12로 정리하였으므로 이들의 상관관계를 알아보기 위하여 정리한 것이 그림 13~15이다.

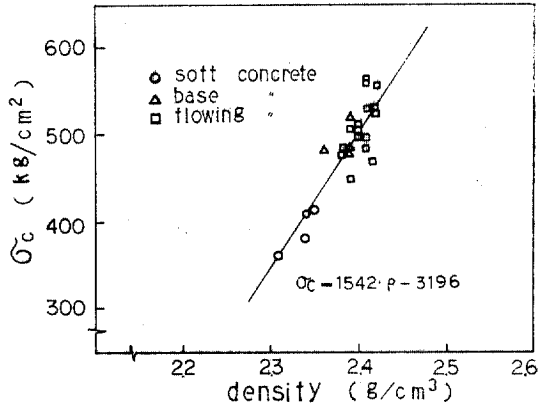


그림 15. 경화한콘크리트의 압축강도와 밀도와의 관계

유동화제의 사용전의 베이스콘크리트와 사용후의 유동화콘크리트의 재령 7일과 28일의 압축강도를 나타낸것이 그림 13이다. 그림에서 알 수 있듯이 유동화콘크리트의 압축강도가 베이스콘크리트의 압축강도보다 약간 큰 값을 나타내지만 양자 사이에는 좋은 상관관계가 성립되므로 최소자승법으로 직선식을 구한 것이

$$\sigma_{fc} = 1.13 \cdot \sigma_{bc} - 52.3$$

여기서 σ_{fc} : 유동화콘크리트의 압축강도 (kg/cm²)

σ_{bc} : 베이스콘크리트의 압축강도 (kg/cm²)

이다. 서독의 指針에 의하면 유동화콘크리트의 28일 압축강도는 베이스콘크리트의 압축강도의 90%이상 이라야 한다고 규정되어 있다⁽⁶⁾.

한편 유동화콘크리트의 유동화제의 사용 전후의 압축강도와 동탄성계수와의 관계를 정리한 것이 그림 14이며, 이 그림에서 알 수 있듯이 다소 변동은 되고 있으나 압축강도가 클수록 동탄성계수값이 얼마간 크게 나타나는 경향이 있으며 이들 양자 사이를 $E_D = (0.0024 \cdot \sigma_c + 3.336) \times 10^5$

으로 나타낼 수 있다.

끝으로 경화한 콘크리트의 압축강도와 밀도와 의 관계를 조사한 것이 그림 15이며, 밀도의 범 위가 2.30~2.45 정도이긴 하나 압축강도와 밀 도 사이에는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었으 며 이는 콘크리트의 강도를 최대밀도이론과 관 련시켜 생각해도 이해가 되는 결과로 생각된다.

4-4. 流動化콘크리트의 슬럼프低下에 대한 고찰

유동화콘크리트는 보통 묽은반죽콘크리트에 비 하여 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프저하(slump loss 라고도 함)의 정도가 크며 일반적으로는 경 과시간과 함께 거의 직선적으로 저하하여 60분 정도로서 원래의 베이스콘크리트의 슬럼프값으 로 되돌아 간다고 한다^(16,28). 이러한 유동화콘크 리트의 slump loss 현상은 베이스콘크리트의 슬 럽프가 작고^(29,30), 유동화제 첨가량이 많을수록 또 콘크리트의 온도가 높을수록⁽²³⁾, 슬럼프저하 의 비율이 크며, 유동화제의 종류⁽¹⁷⁾에 따라 차 이가 있으며, 유동화후의 믹서의 교반속도가 빠 를수록⁽³¹⁾, 유동화한 시기, 유동화제의 첨가시기 가 늦을수록 그후의 slump loss 가 빠른 경향을 나타낸다고 한다^(23,24).

본 실험에서는 유동화제 0.28%를 사용한 유 동화콘크리트와 묽은반죽콘크리트의 슬럼프값 20 ±1 cm에 대하여 실시한 실험결과를 정리한 것 이 그림 2이며, 이를 원래의 슬럼프값에 대하여 저하된 값과의 관계로 정리한 것이 그림 16이 다.(그림속의 숫자는 믹싱 직후 슬럼프값 100에 대한 3시간후의 슬럼프값 저하율임)

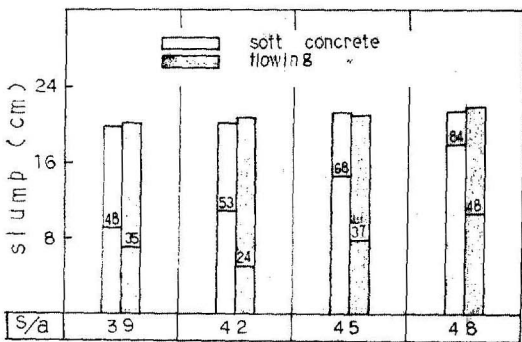


그림 16. 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프저하의 비교

이때 묽은반죽콘크리트나 유동화콘크리트 다 같이 잔골재율의 차이에 따라 슬럼프저하의 차

이가 크며, 잔골재율이 작을수록 slump loss 는 큰 경향을 나타내었다,

특히 유동화콘크리트의 슬럼프저하는 묽은반 죽콘크리트보다 훨씬 크며, 2시간 정도에서 베이스콘크리트의 슬럼프값으로 되돌아 감을 알 수 있다. 이때 슬럼프값 1cm저하 하는데 소요되는 시간을 換算해서 비교한 것이 표 6이다.

표 6. 슬럼프값 저하의 비율

종류 경과시간(분)	슬럼프값 저하에 소요되는 시간(분/cm)	
	묽은반죽콘크리트	유동화콘크리트
60	20.0	20.0
90	22.0	15.0
120	24.5	13.2
180	24.0	13.4

이표의 경과시간 90분의 유동화콘크리트의 슬 럽프 저하값 약 15분/cm을 小長井⁽²⁹⁾의 믹싱후 75분 靜置時의 슬럼프 저하값 7.5분/cm와 비 교해 보면 2배에 해당되는 값이다. 이와 같은 점 은 유동화제의 종류, 온도 및 실험시의 제 조건 이 다르기 때문에 직접적인 비교가 곤란하지만 참고자료로서 意義가 있을 것으로 생각된다. 여 기서는 유동화콘크리트의 경과시간에 따른 슬 럽프低下의 機構에 대하여 지금까지의 研究成果 및 諸資料들을 검토해 봄으로써 slump loss의 방지에 대한 대책을 강구하고자 한다.

Khalil⁽³²⁾에 의하면 slump loss에는 시멘트성 분 중에서 C₃A량이 문제가 된다고 하며, 그 원 인은 C₃A의 반응이 凝結調節用의 石膏量에 크 게 영향을 미치기 때문으로 생각한다.

한편으로는 初期水和 段階에서 發熱이 크게 영 향을 미친다고 하며, 유동화제 등 감수제 첨가 에 의하여 slump loss가 빨라지는 현상은 혼화 제가 초기단계에서 응결시간을 지연시키지만 水 和反應을 촉진한다고 하며, 發熱量은 반응의 전 체를 측정하므로 발열이 큰 쪽이 슬럼프의 큰 손 실을 나타낸다고 한다. 따라서 혼화제의 첨가에 의한 slump loss가 빠른 경우, 적당량의 SO₃를 가하므로써 slump loss를 완화시킬수 있으며, 워이커빌리티의 유지에 도움을 주며, 28일 압축 강도를 증가시키는 효과까지 얻었다고 한다. 服

部는 시멘트粒子的 物理的 凝集이 主要原因이기 때문에 反復添加, 分割添加方法에 의하여 슬럼프저하를 해결하고자 하였다^(18,33). 長瀧⁽¹³⁾에 의하면 注水直後の 水和反應을 억제하거나, 液相殘存濃度가 높은 유동화제를 사용하므로써 液相에 잔존한 粒子表面에 吸着하는 유동화제의 양을 유지하여 slump loss 를 억제하는 방법 또는 遲延劑나 C₃A 含有量이 적은 시멘트를 사용함이 效果的이라 한다. Kishitani⁽³⁴⁾는 유동화콘크리트의 slump loss 를 설명하기 위하여 시멘트폴의 Rheology 定數에 기초를 두어 검토하였다. 이외에도 Ramachandrn⁽³⁵⁾, 佐佐木⁽³⁶⁾는 slump loss 防止를 위하여 遲延劑의 併用に 대하여, 嵩⁽³⁷⁾는 遲延添加方法에 대한 연구성과를 발표하고 있다.

5. 結 論

보통 콘크리트공법으로 콘크리트의 施工性 改善과 品質向上을 동시에 만족시키는 일은 그렇게 용이하지 않다. 그러나 유동화콘크리트 공법은 이러한 두조건을 동시에 만족시키는데 유효하며, 본 실험의 범위에서 얻어진 결과를 정리해 보면 다음과 같다.

(1) 슬럼프값 19±1 cm 의 유동화콘크리트의 최적잔골재율을 구하기 위하여 굳지않은 콘크리트와 경화한 콘크리트의 제 성질을 검토해 본 결과 굳지않은 콘크리트의 제 성질만을 고려한다면 잔골재율이 작을수록 유리 하겠으나, 양자의 성질을 만족시키는 잔골재율은 42% 정도가 적합할 것으로 판단된다.

(2) 단위시멘트량 400 kg 인 유동화콘크리트의 유동화제의 최적사용량을 알아보기 위하여 실시한 실험결과 슬럼프값을 위시하여 굳지않은 콘크리트와 경화한 콘크리트의 제 성질을 만족시키는 유동화제의 사용량은 시멘트중량에 대하여 0.26~0.28% 정도가 적합할 것으로 생각된다.

(3) 유동화콘크리트의 압축강도, 동탄성계수 및 밀도는 유동화제의 사용량에 따라 다소 차이가 있으며, 잔골재율에 따른 변화는 명확하였다. 한편 유동화제의 사용 전후에 따른 베이스콘크리트와 유동화콘크리트의 압축강도 사이에는 좋은 상관관계가 성립 되었으며, 압축강도와 동탄성계수 및 밀도와의 사이에도 상관성이 있음을

알 수 있다.

(4) 유동화콘크리트의 타설후 경과시간에 따른 슬럼프저하는 잔골재율에 따라 다소 차이가 있으나, 묽은반죽 콘크리트 보다 훨씬크며, 경과시간 2시간 정도에서 베이스콘크리트의 슬럼프값으로 복귀 되었다. 이때 슬럼프 1 cm 저하하는데 따른 所要時間을 換算해 보면 15~20 분 정도이며, slump loss 를 억제하기 위한 수단으로 유동화제를 分割添加하거나 遲延劑를 併用, C₃A 含有量이 적은 시멘트 사용하거나 SO₃ 를 적당량 가하므로써 효과가 있음을 알 수 있다.

감사의 말

이 論文은 1981年度 國費海外派遣研究教授計劃에 의하여 日本 東京工業大學 工學部 土木工學科 長瀧研究室에서 수행한 研究로서, 후원에 주신 文敎部, 漢陽大學校 그리고 연구에 편의를 제공해준 長瀧重義教授에게 感謝를 드립니다.

參 考 文 獻

1. Cement admixtures association and the cement and concrete association, *Superplasticizing admixtures in concrete*. cement and concrete association, England, 1976. 1.
2. 友澤史紀, 콘크리트用混和劑をめぐる最近の動向, 社團法人 日本콘크리트工學協會, 1982. 2.
3. 岡田 清, 高性能減水劑の應用. 콘크리트工學, Vol. 18. 1980. 7.
4. 岸谷孝一外, 流動化콘크리트의 施工性에 關する 現場實驗. セメント・콘크리트, Vol. 419. 1982. 1.
5. K. Walz und J. Bonzel, Richtlinien für die Herstellung und Verarbeitung von Fließbeton. *Beton*, Vol. 24. 1974. 9.
6. International Symposium of Superplasticizers in concrete. Ottawa, Canada, 1978. 5, 1981. 6.
7. A. Meyer, Experiences in the use of superplasticizers in Germany. *Proceedings of International symposium on superplasticizer in concrete, Canada*, 1978. 5.
8. K. Hattori, Experience with Mighty Superplasticizer in Japan. *Proceeding of the International Symposium on Superplasticizer in Concrete, Canada*, 1978. 5.

9. D. Freese, Practical experience in the use of superplasticizers in ready-mixed concrete, Superplasticizers in concrete. *Proceeding of the International Symposium on Superplasticizer in Concrete, Canada*, 1978. 5.
10. W.T. Hester, Use of superplasticizing admixture in prestressed precast concrete operations. *Proceeding of the International Symposium on Superplasticizer in Concrete, Canada*, 1981. 6.
11. K. Kishitani, The engineering properties of superplasticized concretes. *Proceeding of the International Symposium on Superplasticizer in Concrete, Canada*, 1981. 6.
12. 友澤史紀, 福土勲, 流動化コンクリートの現状と問題点. *コンクリート工学*, Vol.16, 1978. 8.
13. 長瀧重義外, 高性能減水剤を添加したコンクリートのスランプロス. *セメント・コンクリート*, No.416, 1981. 10.
14. 服部健一, 飯塚正則, 流動化コンクリートとその特性 建築士と實務. 1981. 12.
15. 小川鑑, ここに注意流動化コンクリート工法. *理工圖書*. 1980. 12.
16. 石橋忠良, 高性能減水剤によるコンクリートのワーカビリティの向上(場所打ちコンクリートへの適用) 第36回年次學術講演會研究討論會, 1981. 10.
17. 文翰英, 流動化콘크리트의 특성에 관한考察, *大韓土木學會誌*, 第30卷 第1號, 1982. 2.
18. 服部健一, 高流動化剤を繰返し添加したコンクリートの諸性質, *セメント・コンクリート* No. 396, 1980. 2.
19. 服部健一外, 流動化コンクリートについて. *セメント技術年報*, 1976.
20. 嵩英雄, 高性能減水剤の遅延添加による高流動コンクリート研究. 1~4報, *日本建築學會大會學術講演會梗概集*, 1976. 10.
21. 鈴木忠彦外, フルイドコンクリートの施工に関する實驗的研究, 1~3報, *日本建築學會大會學術講演會梗概集*, 1976. 10.
22. 龜田泰弘外, 20%程度減水できる混和剤を用いたまだ固まらないコンクリートの特性. *日本建築學會大會學術講演會梗概集*, 1976. 10.
23. 柿崎正義外, 現場で減水剤を混入したコンクリートの特性. *鹿島建設技術研究所年報*, 第25號, 1977. 6.
24. C.L. Hwang and F. Young, Factors affecting slump loss in superplasticized concrete. *Proceedings of International Symposium on Superplasticizer in Concrete, Canada*, 1981. 6.
25. 日本建築學會材料施工委員會, 流動化コンクリートの技術と現状. *日本建築學會*, 1980. 9.
26. 鈴木忠彦, 流動コンクリートの施工實驗. *セメント・コンクリート*, No.361, 1977. 3.
27. 服部健一, 流動化コンクリート, *セメント・コンクリート*, No.357, 1976. 11.
28. V.M. Malhotra, Effect of repeated dosages of superplasticizers on slump, strength and free-thaw resistance of concrete. *Materials and Structures*, Vol.14, No.80, 1981. 3.
29. 小長井宣生外, 流動化剤を添加した鋪装コンクリートの性状. *セメント・コンクリート*, No.422, 1982. 4.
30. 石橋忠良, 流動化コンクリートを用いた廣瀬川橋梁の施工. *コンクリート工学*, Vol.18, 1980. 1.
31. 岸谷孝一外, 流動化コンクリートのレオロジーとスランプロス, *セメント・コンクリート*, No.421, 1982. 3.
32. S.M. Khalil and M.A. Ward, Effect of sulphate content of cement upon heat evolution and slump loss of concretes containing high-range water reducers. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 32, 1980. 3.
33. 服部健一, スランプロスのメカニズムおよびその対策材料, *No.318*, 1980.
34. K., Kishitani, Rheology and slump loss of superplasticized concrete. *Journal of the faculty of Eng. The University of Tokyo* Vol.XXXVI, 1981.
35. V.S. Ramachandrn, Effect of retarders water reducers on slump loss in superplasticized concrete. *Proceedings of International Symposium on Superplasticizer in Concrete. Canada*, 1981. 6.
36. 佐佐木弘美外, 高強度コンクリートの施工性に関する研究. *土木學會* 第33回年次學術講演會概要集, 1978. 9.
37. 嵩英雄外, 高性能減水剤の遅延添加による高流動コンクリートの研究. *竹中技術研究報告*, その 1, 2, 1976. 10, 1978. 4.

(接受: 1982. 6. 8)