

高性能流動化劑가 콘크리트의 工學的 特性에 미치는 影響(I)

A Study on the Effects of Superplasticizers on the Engineering Properties of Plain Concrete(I)

朴 承 範* · 李 補 成*
Park, Seung Bum · Rhe, Bo Sung

Summary

This study was attempted in order to investigate the effects of superplasticizers on fresh and hardened concrete. The experimental program included tests on the slump and slump loss, bleeding, time of set, air content, the compacting, factor Vee Bee, compressive strength, tensile and flexural strength, permeability, shrinkage and freeze-thaw durability. The major conclusions that can be drawn on the study are as follows.

1. Superplasticizers were observed to have an appreciable fluidifying action in fresh concrete so that under appropriate conditions, they either considerably improved its workability or permitted a water reduction of at least 8—12% to be made while maintaining normal workability.

2. The bleeding ratios of base and S.P. Concrete were much lower than those of the conventional concrete. Differences between the base and S.P. Concrete were insignificant.

3. The setting time was the longest for conventional concrete, followed by S.P. concrete and base concrete in that order. And AE water reduction admixtures showed an appreciable influence on the setting and hardening characteristics of concrete and prolonged the stiffening times.

4. The high initial slump values of S.P. concrete generally decreased rapidly with increased standing time. CF values showed increasing tendencies with the increase of S.P. content, and excessive addition of S.P. caused the segregation of fresh concrete, resulting in its rejection.

5. Though there was a slight increase in strength, no significant differences are observed between base and S.P. concrete in terms of the compressive, tensile and flexural strength.

6. The permeability of S.P. concrete was significantly less than that of the conventional concrete, and the shrinkage of S.P. concrete was considerably smaller than that of the conventional concrete, but there were no significant differences between base and

*忠南大學校 工業教育大學

S.P. concrete.

7. Compared to base concrete, S.P. concrete without entrained air tended to slightly increase freeze-thaw durability, and S.P. concrete with an appropriate entrained air gave satisfactory resistance to freezing and thawing.

I. 序 論

流動化劑(Superplasticizers, SP로 약술함)는 주로 1968년 서독에서 개발된 메라민설펜산염 縮合物과 1960년대 후반 일본에서 개발된 나프타린 縮合物을 주성분으로 하는 것과 변형리그닌설펜산염 등을 주성분으로 하는 分散性이 우수한 고성능 감수제로 高强度콘크리트나 減水콘크리트의 제조에 많이 사용되고 있다¹⁾. 여기서, 유동화콘크리트란 보통의 단위수량이 적은 된반죽콘크리트에 流動化劑를 첨가하여 동일단위수량으로 콘크리트의 품질을 저하시키지 않고 높은 流動性을 갖는 양호한 施工性을 갖도록 만든 콘크리트를 말한다²⁾. 流動化劑는 종래의 리그닌계 減水劑의 감소율이 8~15%인데 비하여, 15~33% 정도의 높은 감소율을 나타낼 뿐만 아니라 혼입량을 많이 하여도 응결 지연, 경화불량, 공기량의 과잉연행 등을 일으키지 않는다³⁾. 유동화콘크리트는 1971년경 서독에서 콘크리트의 施工性을 改善할 목적으로 고안된 것으로 1974년 그 제조 施工에 관한 指針이 작성되고⁴⁾, 1976년 영국에서는 시멘트콘크리트협회와 시멘트혼화제협회에 의하여 이에 관한 보고서가 발표되었다. 일본에서도 1980년 일본토목학회⁵⁾와 일본건축학회⁶⁾에 의하여 流動化콘크리트의 設計施工指針案이 마련되고, 캐나다에서 1978년 5월 및 1981년 6월 유동화콘크리트에 관한 심포지움이 개최되고, 그 내용이 ACI SP-62⁷⁾, ACI SP-68⁸⁾로 보고되었으며, 1981년 캐나다에서 流動化劑使用指針案이 發表된 바 있다⁹⁾.

특히 최근의 콘크리트 펌프공법의 보급과 골재의

품질저하 등으로 우수한 품질과 양호한 施工성을 갖는 유동성이 풍부한 콘크리트가 요망되는 데 수반하여 이에 관한 관심이 높아지고 있고, 우리나라에서도 본공법이 유익하게 보급활용될 수 있도록 우리 실정에 맞는 유동화콘크리트의 제조·施工을 위한 조사연구가 요망되고 있다. 국내에서의 이에 관한 연구는 文·崔^{10),11)} 등에 의한 發表가 있으나 아직도 研究 및 使用實績이 미미한 실정으로 구명되어야 할 많은 문제점과 과제를 남겨 놓고 있다.

여기서 필자는 우선 유동화콘크리트의 기본적인 공학적 특성을 파악하기 위하여 化學組成別로 대표적인 標準型流動化劑 4種과 AE減水劑를 선정, 이들이 굳지 않은 콘크리트의 流動特性과 硬化콘크리트의 強度, 透水性, 乾燥收縮 및 耐久性에 미치는 영향을 調査하고, 보통의 묽은반죽 콘크리트(Conventional concrete) 및 베이스 콘크리트와 比較考察을 行하였다.

II. 材料 및 方法

1. 使用材料

本 試驗에 使用된 材料는 다음과 같다.

가. 시멘트

시멘트는 S會社 製品の 보통포틀랜드시멘트이며 그 品質은 Table-1과 같다.

나. 골재

골재는 錦江에서 採取한 굵은골재 최대치수 25mm 인 강자갈과 강모래를 표면건조포화상태로 하여 사용하였으며 이들의 粒度分布는 Fig. 1과 같고, 物理的 性質은 Table-2와 같다.

Table-1. Quality of normal cement

Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	88μ residue (%)	Soundness (%)	Time of setting		Compressive strength		
				Initial (hr.: min)	Final (hr.: min)	3days	7days	28days
3.15	3250	1.8	0.17	3:50	6:30	178	245	331
CaO(%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO(%)	SO ₃ (%)	Insol.(%)	Ig.loss(%)	
61.1	21.2	5.5	3.2	3.1	2.3	0.1	2.1	

Table-2. Physical Properties of aggregates

Kind of aggregate	Specific gravity	Absorption (%)	Fineness modulus	Unit weight (kg/m ³)	Abrasion ratio(%)	Soundness (%)	Organic impurity
Fine agg.	2.57	1.01	2.82	1630	—	0.14	good
Coarse agg.	2.63	1.39	6.61	1680	14.2	0.20	good

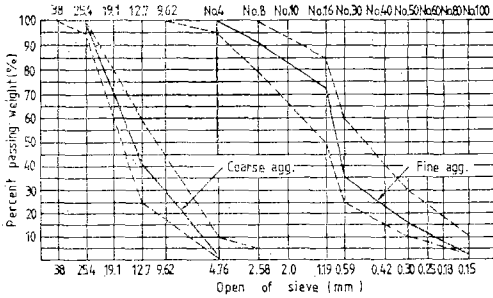


Fig. 1. Gradation curve of fine and coarse aggregate

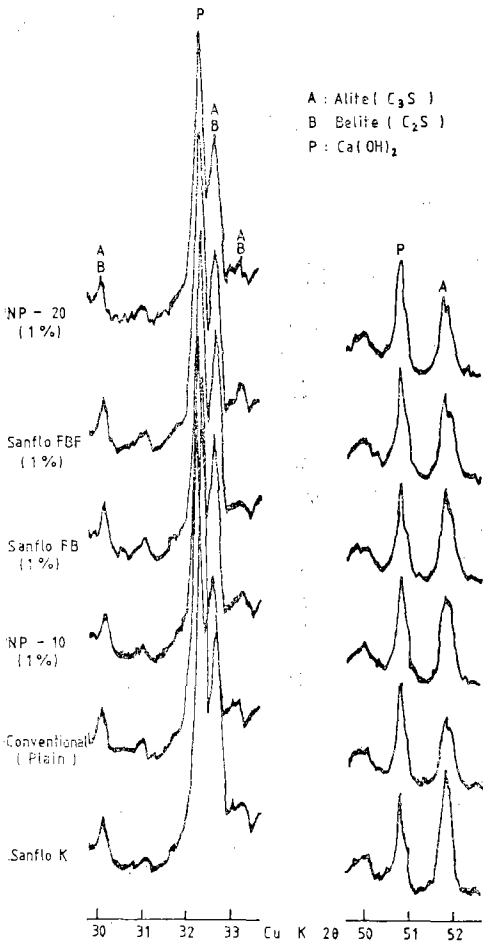


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of hydrates (48hr.)

다. 流動化劑

流動化劑는 과거에 사용하여 오던 콘크리트용 界面活性劑와는 化學的으로 다르고 응결지연, 경화불량, 공기연행작용 등의 2차적인 작용이 극소하고 높은 減水效果和 流動性的 增進效果를 나타내는 등의 많은 장점이 있다^{11,10,11}. 본 실험에 사용된 標準型的 流動化劑는 나프타린 설폰산염계 복합물을 主成分으로 하는 NP-10(슬럼프低下低減流動化劑), 메라린 설폰산염계 복합물을 주성분으로 하는 NP-20, 나프타린 설폰산과 리그닌 설폰산의 共縮合물을 主成分으로 하는 Sanflo-FB 및 Sanflo-FBF(슬럼프低下低減流動化劑)를 使用하였고 標準型AE減水劑로서 나프타린 설폰산과 變性리그닌縮合물을 主成分으로 하는 Sanflo-K를 使用하였으며, 이들의 物理的性質은 Table-3과 같다.

Table-3. Physical properties of the admixtures

Admixture	Appearance	Specific gravity (20°C)	pH	Viscosity (cp/20°C)
NP-10	Dark brown liquid	1.18	8	Approx.20
NP-20	Dark brown liquid	1.13	7	Approx.10
Sanflo-FB	Brown liquid	1.20	9	Approx.25
Sanflo-FBF	Light brown liquid	1.14	9	—
Sanflo-K	Brown liquid	1.21	9	—

2. 試驗方法

가. 콘크리트의 配合과 비비기

콘크리트의 配合는 단위시멘트량 350kg에 대하여 잔골재율 43%로 정하고 슬럼프값 12±1cm의 베이스 콘크리트와 목표슬럼프값 18±1cm의 묽은반죽 콘크리트(Conventional concrete) 및 流動化콘크리트를 試驗비비기^{12,13}에 의하여 단위수량을 조정 配合를 決定하였다. 콘크리트 비비기 方法은 용량 54l의 可傾式믹서를 사용하여 全材料를 投入한 후 3분간 비비하여 베이스콘크리트를 만든 후 여기에 製

Table-4. Mix proportions of concrete

Mix. No.	Kind of concrete	Dosage* (%)	AE* WRA(%)	S/A (%)	W/C (%)	Unit weight (kg/m ³)				Slump (cm)	Air (%)
						W	C	S	G		
1	Convetion	—	—	43	53.7	188	350	775	1051	18.4	1.1
2	Base	—	—	43	50.3	176	350	788	1069	12.1	1.3
3	Sanflo FBF	0.4	—	43	49.7	174	350	790	1072	19.5	1.2
4		1.0	—	43	47.4	166	350	799	1084	18.6	1.4
5	Sanflo FB	0.4	—	43	50.0	175	350	789	1070	19.9	1.0
6		1.0	—	43	47.7	167	350	798	1082	18.1	1.3
7	NP-10	0.4	—	43	49.1	172	350	792	1075	17.7	1.1
8		1.0	—	43	48.3	169	350	796	1079	17.4	1.2
9	NP-20	0.4	—	43	49.7	174	350	790	1072	18.5	1.0
10		1.0	—	43	48.0	168	350	797	1081	19.1	1.4
11	Sanflo FBF +	0.4	0.25	43	48.6	170	350	750	1018	18.5	4.3
12	Sanflo K	1.0	0.25	43	46.0	161	350	760	1031	19.1	4.7
13	Sanflo K	0.25	—	43	50.9	178	350	749	1004	18.7	4.1

* Amount of admixture solution expressed as a percentage by weight of cement.

造會社의 추천량 범위내에서 0.4%, 1.0%의 流動化劑를 各各添加하고 1분간 제비빔하여 流動化콘크리트를 製造한 후 즉시 슬럼프 측정과 空氣量의 측정을 행하였다. 한편 空氣를 連行시키지 않을 때는 4種의 流動化劑만 投入하고 空氣를 連行시킬 경우의 配合는 대표적인 流動化劑로 Sanflo FBF를 선택하여 여기에 AE減水劑(Sanflok) 0.25%를 混合하여 同時에 投入하였고, AE 콘크리트는 묽은반죽 콘크리트에 AE표준간수제로써 Sanflo-K를 0.25% 投入하여 混合하였다. 이때 試驗室 및 콘크리트의 溫度는 20~25°C였고, 이들 콘크리트의 配合表는 Table-4와 같다.

나. X선 회절분석試驗

시험에 사용한 混和劑를 각각 1.0% 첨가하고, w/c=50%로 하여 믹싱, 48시간 경과 후 Rigaku社 제품의 X선 회절분석기를 사용하여 측정하였다. (Fig. 2)

다. 슬럼프試驗

KSF 2402에 準하여 보통의 묽은반죽 콘크리트, 베이슨콘크리트 및 流動化콘크리트의 슬럼프 값을 배합직후와 30, 60, 90, 120分 後의 슬럼프 값을 측정하여 시간의 경과에 따른 슬럼프 값의 變化를 관찰

하였다.

라. 空氣量試驗

KSF 2421에 準하여 空氣室壓力方法에 依하여 콘크리트配合別로 空氣量을 측정하였다.

마. 凝結試驗

KSF 2436에 準하여 日本 M社 제품의 프록터貫入試驗機를 사용하여 1時間마다 관입저항값을 구하고, 관입저항값이 35kg/cm²와 280kg/cm²가 될 때의 所要時間을 測定하여 初結과 終結로 하였다.

바. 블리이딩·다짐계수·VB試驗

콘크리트配合別의 블리이딩측정은 KSF 2411에 準하여 內徑 25cm, 안높이 28cm의 원통형 금속제 용기에 시료를 채우고 뚜껑을 덮어 所定時間에 피펫트를 이용하여 상부의 물을 채취, 블리이딩율을 구하였다. 다짐계수의 측정은 BS 1881에 準하여 행하고, VB試驗은 KSF 2427에 準하여 日本 M社 제품의 진동수 1,500rpm. 全振幅 0.8mm의 振動式 VB 시험기를 사용하여 행하였다.

사. 壓縮·引張·韌強度試驗

콘크리트의 壓縮 및 引張強度의 측정은 KSF 2405 및 KSF 2423에 準하여, 韌強度의 측정은 KSF 2408에 準하여 15×15×55cm의 供試體를 제작·재령 7

일 및 28일의 強度를 日本 M社 제품의 200ton 용량 電子式萬能試驗機를 사용하여 측정하였다.

아. 透水試驗

透水試驗은 日本 M社 제품의 外壓式콘크리트 透水試驗機를 사용·中心孔의 지름 2cm이고 15cmφ×30cm의 中空圓筒形供試體를 제작하여 21日間 수중 양생 후 7日間 20~25°C의 室內에서 氣乾養生한 후 아웃·프트방법¹⁵⁾에 依하여 供試體에 30kg/cm²의 壓力을 加하여 行하였다. 이때 透水係數는 다음 (1) 式을 使用하여 구하였다.

$$K = \frac{\rho \log_e \frac{r_o}{r_i}}{2\pi h} \cdot \frac{Q}{P_o - P_i} \dots \dots \dots (1)$$

- 여기서, K; 투수계수(cm/sec)
- Q; 流出量(cc/sec)
- P_o, P_i; 中空圓筒형공시체의 외측 및 내측의 水壓(kg/cm²)
- r_o; 공시체의 반경(cm)
- r_i; 중심공의 반경(cm)

자. 乾燥收縮試驗

콘크리트의 乾燥收縮試驗은 KSF 2424에 準하여 10×10×40cm의 供試體를 제작·정밀도 1/1,000mm 인 讀取顯微鏡型 콤포레터를 사용하여 材齡 7, 28, 60, 91, 180日의 各供試體에 대한 길이 변화를 각각 측정하였다.

차. 凍結融解試驗

콘크리트의 急速凍結融解試驗은 KSF 2456에 準하여 3"×3"×14"의 角柱形供試體를 제작·재령 14日 後 미국 S社 제품 水中急速凍結融解試驗機를 사용하여 20cycle마다 動彈性係數를 測定하였다. 凍結融解 cycle은 -18°C~+4°C의 範圍에서 1 cycle 3.5~4.0時間의 速度로 相對動彈性係數가 60이 될 때까지 시험을 계속하였다.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 굳지 않은 流動化콘크리트의 物性

가. 슬럼프 및 空氣量

비빔 직후 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프값과 空氣量을 측정한 결과는 Table-3과 같고 時間經過에 따른 슬럼프減少 현상을 측정하여 정리한 것이 Fig. 3, 4이다. 이들을 고찰하여 보면, 묽은반죽 콘크리트에 對한 減水率은 流動化콘크리트의 경우 混入量 0.4%에서 약 10%, 混入量 1.0%에서 약 12% 정

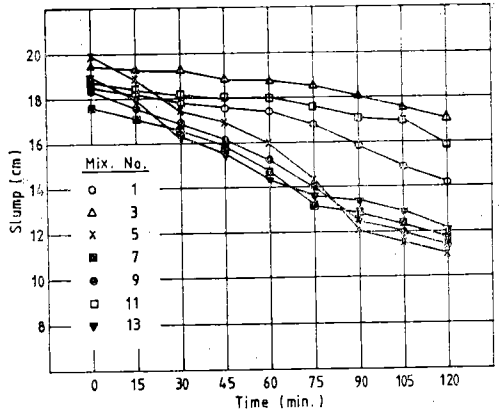


Fig. 3. Changes in slump by time elapsed at 0.4% dosage of superplasticizers

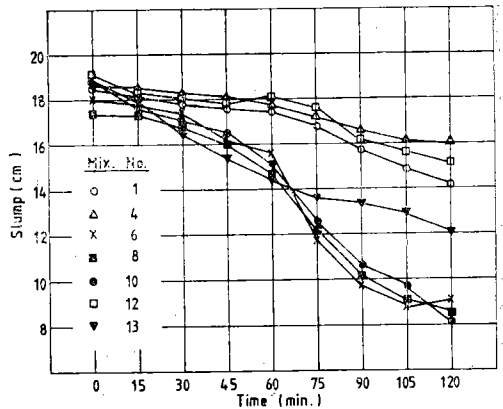


Fig. 4. Changes in slump by time elapsed at 1.0% dosage of superplasticizers

도로 AE減水劑 0.25%의 경우 약 6% 정도에 비하여 현저한 減水效果를 나타내었고, 流動化콘크리트에 대한 슬럼프값의 時間의 經過에 따른 變化는 묽은반죽 콘크리트에 비하여 동일 슬럼프값을 얻기 위한 單位水量이 작게 소요되나, 流動化劑의 시멘트粒子分散作用이 時間의 경과와 함께 低下함에 기인하는 것으로 생각된다. 이러한 현상은 文¹¹⁾, 嵩^{16,17)} 등의 연구 결과와 같은 양상을 나타내는 것으로, 流動化콘크리트의 슬럼프低下는 베이스콘크리트의 슬럼프^{18,19)}, 流動化劑의 첨가량 및 종류^{20,21,22)}, 첨가 시기^{23,24)}, 溫度^{25,26)} 등에 의해 영향을 받는다고 하였다. 또한 콘크리트의 슬럼프저하 현상은 시멘트粒子의 物理的·化學的 凝集에도 원인이 있는 것으로 콘크리트비빔에 의해 시멘트가 물과 접촉하여 3분

정도 경과후 나타나는 化學的으로 不活性時期인 潛伏期(dormant stage)^{3),4)}에서부터 일어나는 것으로 생각된다. 또한, 流動化콘크리트는 淸은반죽 콘크리트에 비하여 混入量이 增加됨에 따라 슬럼프低下 현상이 두드러졌다. 한편으로 遲延形流動化劑의 경우, 보통의 표준형流動化劑를 사용한 경우보다 슬럼프低下率이 작아 高溫等에서의 슬럼프低下防止에 有利한 것으로 생각된다. 流動化劑의 첨가 및 혼합에 의한 空氣量의 增減 및 콘크리트의 流動化에 따른 空氣量의 大變化는 없었다.

따라서 이러한 流動化콘크리트의 슬럼프低下防止를 위하여, 流動化劑의 分割添加, 單位시멘트량의 증대, 슬럼프감소低減流動化劑의 사용이 필요하다.

나. 凝結性狀

試驗用 굳지 않은 콘크리트에 대하여 프루더 관입저항시험에 의한 응결시험 결과를 정리한 것이 Fig. 5 및 Fig. 6으로 Fig.에서 보는 바와 같이 流動化劑를 사용한 콘크리트는 混入率을 증대하여도 리그닌系 AE減水劑를 사용한 경우에 비하여 큰 응결지연 현상은 보이지 않았고, AE減水劑를 사용한 경우는 현저한 응결지연 현상을 나타냈다. 또한 流動化劑를 사용한 경우는 큰 차이가 없어 1.0% 사용 시에는 베이스 콘크리트 보다는 약간 떨어지나 보통의 淸은반죽 콘크리트보다는 양호한 편이었다. 여기서, 혼화제 성분들과 연관된 시멘트의 水和 遲延 메카니즘을 명확하게 설명한 보고는 없으나

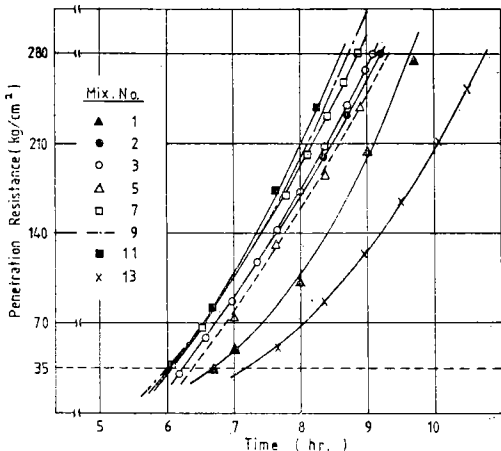
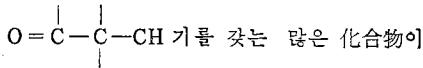


Fig. 5. Comparison of setting time at 0.4% dosage of superplasticizers

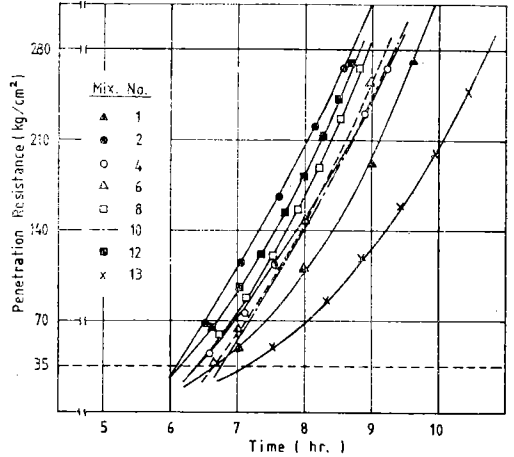


Fig. 6. Comparison of setting time at 1.0% dosage of superplasticizers

遲延作用을 갖는 것으로 추측된다. 이러한 현상은 수화경지시험을 통한 Fig. 2의 X-線回折分析 試驗結果를 통하여 고찰할 수 있다. 즉 리그닌系 AE減水劑의 경우, 流動化劑의 경우보다 Alite 水和가 저조하고 따라서 시멘트水和 遲延에 의해 發生되는 콘크리트의 응결지연, 경화불량, 강도저하 등의 문제점이 一般減水劑보다 流動化劑를 사용한 콘크리트가 훨씬 有利함을 예측할 수 있다. 따라서 流動化콘크리트의 施工은 콘크리트의 品質을 유지하면서 流動性を 풍부히 할 수 있는 장점이 있는 것으로 판단된다. 이와 같이 流動化劑의 主成分인 高性能減水劑 自體에는 凝結遲延性이 없으므로 使用量을 增加하여도 凝結性狀에는 大變化는 없으나, 淸은반죽 콘크리트와 같이 콘크리트凝結이 빠른 경우에는 流動化된 후, 콘크리트凝結의 始發에 달하는 時間이 매우 단축되므로 施工上 注意가 必要할 것으로 생각된다

다. 블리이딩

굳지 않은 콘크리트의 블리이딩율을 14종류의 콘크리트에 대하여 6시간 동안 측정된 결과를 정리한 것이 Fig. 7, 8이며, 여기서 유동화 콘크리트의 블리이딩율은 동일 슬럼프 값의 淸은반죽 콘크리트의 약 60~80%로써 文¹¹⁾, 友澤²⁵⁾의 실험결과와 유사함을 알 수 있다. AE減水劑를 사용한 콘크리트의 블리이딩율에 대하여는 혼입량 0.4%, 1.0%의 경우는 약 20~30% 정도 작았고, 베이스 콘크리트에 대하여는 대략 동등하여 流動化劑의 종류 및 혼입량에 따라 약간 크거나 작게 나타났다. 또한 블리

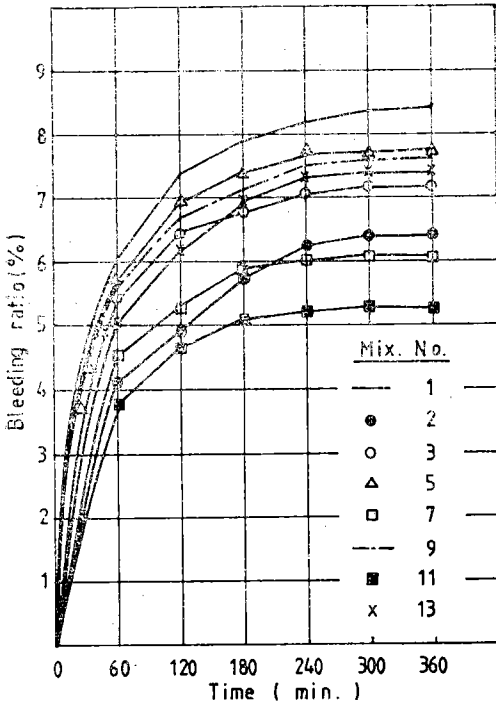


Fig. 7. Comparison of the bleeding ratio at 0.4% dosage of superplasticizers

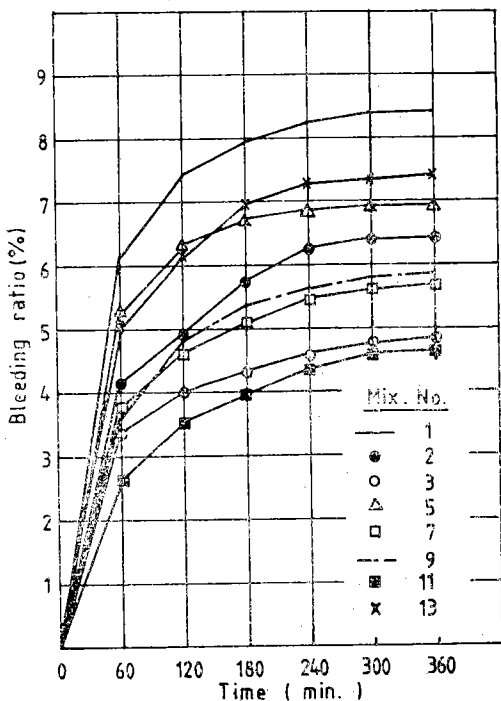


Fig. 8. Comparison of the bleeding ratio at 1.0% dosage of superplasticizers

이당에 대한 流動化 콘크리트의 沈下率은 묽은반죽 콘크리트에 비하여 작은 傾向이 있어 콘크리트의 균열방지에 有利한 것으로 판단된다.

라. CF 및 VB값

Table-5에서 C.F.는 流動化 콘크리트의 경우 묽은반죽 콘크리트보다 거의 같거나 약간 작았고, 베이스 콘크리트에 비하여 큰 현상을 보였으며, 리그닌계 AE減水劑를 사용한 경우보다는 전반적으로 작았다. 또한 流動化劑를 0.4%에서 1.0%로 增加시킴에 따라 C.F.값이 低下하는 현상을 나타냈다. 이는 試料의 落下에 의하여 생기는 작은 應力에서 流動化劑 0.4%의 경우 1.0%의 경우보다 단위수량이 크므로 流動化와 동시에 다짐이 양호한 편이나 1.0%의 경우는 단위수량이 감소되어 落下에 의한 應力이 너무 작아 充分한 流動化에도 불구하고 다짐 정도가 악화되는 것으로 생각된다. 따라서 流動化劑를 사용한 콘크리트의 진동다짐을 하는 경우, 가장 효율이 좋고 단시간에 또한 노력을 적게 들도록 하기 위하여 재료분리가 생기지 않는 범위내에서 될 수 있는 한 混入率을 증가하여 큰 振動數를 갖는 진동기를 사용하고 배합설계시 적정한 s/a의 決定이 매우 중요한 것으로 판단된다. V.B.값은 流動化 콘크리트의 경우, 베이스 콘크리트에 비하여 현저히 감소하나 AE減水劑를 사용한 콘크리트 보다는 커지는 경향이 있고 混入量 0.4%의 경우 V.B.값이 최소로 되어 流動性이 양호한 반면, 1.0%의 경우 V.B.값이 증가하는 현상을 나타내었다. 이러한 현상은 流動化劑의 混入量의 증가에 수반하여 V.B.시험 시작과 함께 시멘트 페스트 및 모르타르부분이 재빨리 流動化하여 흘러버려 振動初期에 沈下速度가 커지나 조골재가 시료중에 남아 맞물림(Interlocking) 현상이 증대되어 試料의 沈下가 늦어져 沈下末期에 沈下速度가 현저히 작아지게 되어 流動性을 악화시키기 때문인 것으로 생각된다.

2. 硬化한 流動化콘크리트의 物性

가. 壓縮強度

標準養生을 한 供試體의 材令 7일, 28일에서의 壓縮強度試驗結果는 Table-4와 같고, 비빔 및 시험결과를 비교·정리한 것이 Fig. 9, 10이다. 여기서 유동화 콘크리트의 압축강도는 베이스 콘크리트에 비하여 재령 7일의 경우 混入量의 증가에 따라 거의 비슷하거나 약간 증가하는 경향이고, 재령 28일에서 4% 전후의 강도 증진효과를 보여 목표 슬럼프

Table-5. Test results of concrete

Mix. No.	Bleeding ratio (%)										
	10(min)	20	30	40	50	60	120	180	240	300	360
1	3.15	3.90	4.46	5.07	5.62	6.05	7.43	7.89	8.21	8.39	8.41
2	2.17	2.46	3.13	3.59	3.87	4.13	4.92	5.78	6.34	6.35	6.39
3	2.46	3.19	3.84	4.66	5.05	5.48	6.42	6.77	7.08	7.12	7.14
4	0.94	1.49	2.13	2.67	3.01	3.36	4.05	4.11	4.60	4.78	4.81
5	2.59	3.32	4.06	4.79	5.27	5.75	6.89	7.42	7.59	7.65	7.69
6	1.16	1.72	2.26	2.86	3.12	5.19	6.32	6.74	6.82	6.87	6.91
7	2.08	2.50	3.37	3.78	4.15	4.67	5.36	5.82	6.05	6.07	6.11
8	1.23	1.87	2.44	2.92	3.24	3.86	4.58	5.04	5.48	5.52	5.68
9	2.47	3.26	4.02	4.55	5.13	5.57	6.64	7.09	7.47	7.55	7.59
10	1.29	1.92	2.49	3.07	3.31	3.63	4.76	5.32	5.61	5.79	5.83
11	1.94	2.31	2.78	3.18	3.45	3.81	4.67	5.06	5.16	5.23	5.28
12	0.89	1.07	1.45	2.05	2.31	2.64	3.51	3.98	4.35	4.60	4.63
13	2.16	2.89	3.52	4.37	4.85	5.08	6.14	6.96	7.28	7.31	7.37

Mix. No.	C.F.	V.B. (sec)	Setting time (hr.: min)		Comp. strength (kg/cm ²)		Tens. strength (kg/cm ²)		Flex. strength (kg/cm ²)		K*
			Initial	Final	7d	2 d	7d	28d	7d	28d	
1	0.963	2.4	6:40	9:40	172	268	16	24	32	44	32.70
2	0.930	4.5	6:05	8:40	201	295	19	29	40	50	14.62
3	0.980	2.1	6:15	9:05	203	309	20	31	41	52	12.15
4	0.970	2.5	6:25	9:20	205	318	23	33	42	54	11.65
5	0.976	2.0	6:20	9:15	200	296	19	28	39	49	13.08
6	0.968	2.7	6:40	9:10	203	307	20	30	40	50	12.84
7	0.965	1.9	6:05	8:50	201	302	20	29	39	51	12.46
8	0.950	2.4	6:35	8:55	204	309	22	30	43	53	11.23
9	0.967	1.8	6:15	9:05	202	306	19	30	42	51	12.30
10	0.960	2.5	6:45	9:20	206	310	22	33	43	54	11.57
11	0.981	1.9	6:05	8:35	201	305	21	29	40	53	13.05
12	0.970	2.1	6:15	8:50	207	316	23	32	42	55	12.06
13	0.985	2.0	7:10	10:45	198	287	18	26	37	48	12.80

K* : Coefficient of permeability (Unit : $\times 10^{-6}$ cm/sec.)

21cm에 대한 鈴木²¹⁾의 강도저하 현상과는 다른 결과를 보였으나 文²¹⁾의 결과와 거의 같은 양상을 보였다. 또한 유동화 콘크리트와 베이스 콘크리트간에는 流動化劑의 첨가량이 많을수록 압축강도의 차도 커지는 경향을 보였고, 동일 슬럼프를 갖는 종래의 AE감수제를 사용한 콘크리트에 비하여 약 6% 정도의 강도증진 효과를 보였다. 이와 같이 流動化 콘크리트가 베이스 콘크리트보다 강도가 같거나 약간 증진하는 요인은 流動化劑의 添加에 의한 시멘트 粒子相互間의 반발력의 유발과 비닐하는 동안 응집된 시멘트 粒子의 解離로 인한 有効水和面積의 增大에 기인하는 것으로 생각된다. 따라서 流動化 콘

크리트는 베이스 콘크리트의 강도에 손상을 주지 않고 流動性을 풍부하게 함으로써 施工性을 向上시킬 수 있으나 高流動 콘크리트의 제조에 있어, 종래의 AE감수제만으로는 콘크리트 강도에 나쁜 영향을 미치므로 流動化劑와의 併用이 필요한 것으로 생각된다.

나. 引張 및 韌強度

標準養生을 한 材令 7日, 28日에서의 引張 및 韌強度試驗結果는 Table-4와 같고 비빔별 시험결과를 비교·정리하면 Fig. 11,12와 같다. 引張 및 韌強度에 대한 연구 결과는 아직 분명하지 못한 실정으로 본 시험결과 베이스 및 유동화 콘크리트를 비교하

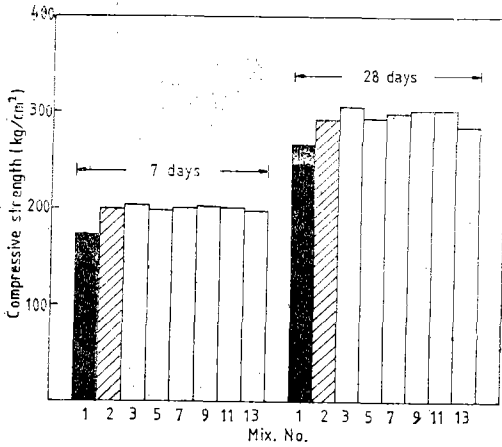


Fig. 9. Comparison of the compressive strength at 0.4% dosage of superplasticizers

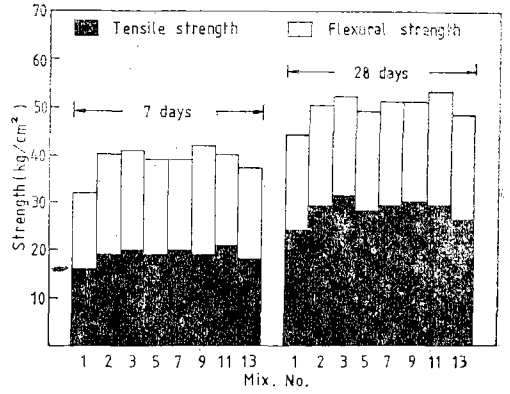


Fig. 11. Comparison of the tensile and flexural strength at 0.4% dosage of superplasticizers

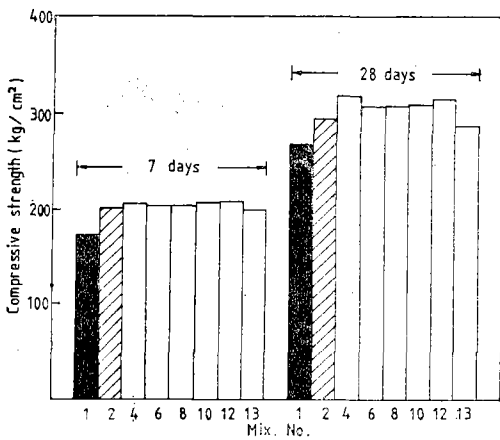


Fig. 10. Comparison of the compressive strength at 1.0% dosage of superplasticizers

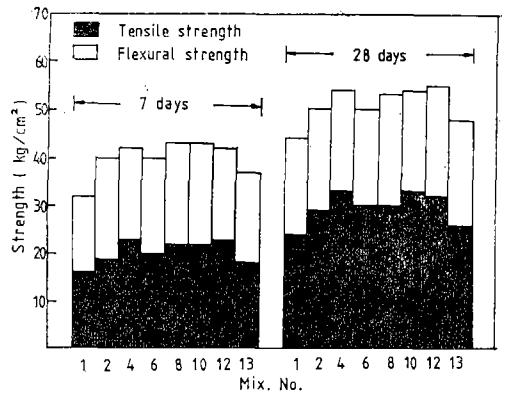


Fig. 12. Comparison of the tensile and flexural strength at 1.0% dosage of superplasticizers

면, 流動化劑의 量이 많을수록, 재령이 클수록 引張 및 靱強度의 差가 커지는 경향이 있다. 동일 슬럼프값을 갖는 비빔에서 7日 強度에서는 거의 同等한 값을 나타내나 28日 強度에서는 約 5% 程度의 強度增進效果가 있었다. 이러한 強度差가 생기는 것은 流動化劑 添加量의 증가에 따른 有効水和面積의 증대와 空氣量의 미소한 증가를 수반함에 기인되는 것으로, 添加量이 많은 콘크리트는 베이스 콘크리트의 空氣量을 적게할 필요가 있다. 또한 流動化 콘크리트에 비하여 종래의 AE감수제를 사용한 콘

크리트의 引張 및 靱強度는 감소현상을 보여 高流動 콘크리트 제작에 불리한 것으로 판단된다.

다. 乾燥收縮 및 透水性

流動化 콘크리트의 乾燥收縮은 베이스 콘크리트와 대략 동등하나²⁷⁾, 베이스 콘크리트의 슬럼프 8cm, 12cm인 流動化 콘크리트는 시멘트량이 많은 슬럼프 21cm의 AE콘크리트에 비하여 1.5×10^{-4} 정도 收縮率이 작다고 한다²⁸⁾. Fig. 13, 14는 4種類의 표준형 流動化제와 AE감수제에 시험결과를 정리한 것이다. 재령 6개월에서 流動化콘크리트의 乾燥收縮은 베이스 콘크리트와는 대략 동등하게 나타났으나 높은반죽 콘크리트에 비하여는 10~16% 정도 작게 나타내었다. 流動化 콘크리트의 단위수량은, 베

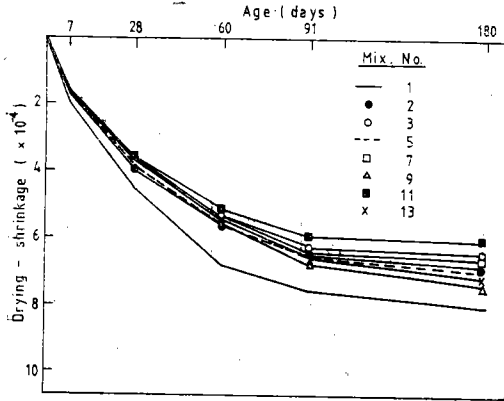


Fig. 13. Comparison of drying shrinkage at 0.4% dosage of superplasticizers

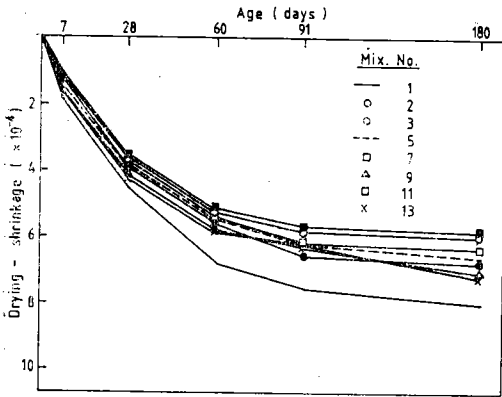


Fig. 14. Comparison of drying shrinkage at 1.0% dosage of superplasticizers

이스 콘크리트가 12cm의 경우 목표슬럼프값을 18~20cm로 하면 약 170kg/m³ 이하로 되고, 콘크리트의 乾燥收縮도 묽은반죽 콘크리트에 비하여 1~2×10⁴ 정도 적었고 AE減水劑를 사용한 콘크리트와는 거의 차이가 없었다. 여기서 단위수량이 콘크리트의 건조수축에 미치는 영향이 매우 큰 것을 확인할 수 있고 流動化劑의 사용에 의한 건조수축의 大幅的인 효과를 얻기는 어려운 것으로 보이나 流動化 콘크리트의 施工은 均열對策으로 有效한 方法이라고 생각된다. 한편 流動化 콘크리트의 透水性에 대한 研究結果는 별로 없는 실정으로서 이에 관한 試驗結果를 Table-5에서 고찰하여 보면, 베이스 콘크리트에 비하여 流動化 콘크리트의 透水係數는 평균 10% 정도의 저하를 나타내고, 混入量의 증가에 따라 低下하는 현상을 보였으며, 묽은반죽 콘크리트에 비하여는 20×10⁻⁶cm/sec 정도의 현저한 低下현

Table-6. Test results of drying-shrinkage

Mix. No.	Length changes (×10 ⁻⁴)				
	7d	28d	60d	91d	180d
1	1.98	4.54	6.86	7.50	7.91
2	1.53	3.92	5.54	6.31	6.81
3	1.42	3.85	5.36	6.07	6.48
4	1.31	3.61	5.12	5.83	5.95
5	1.57	3.97	5.68	6.49	7.01
6	1.45	3.85	5.47	6.23	6.54
7	1.51	3.89	5.49	6.24	6.56
8	1.36	3.74	5.36	6.12	6.27
9	1.57	4.13	5.80	6.58	7.42
10	1.40	4.02	5.53	6.31	6.90
11	1.31	3.76	5.28	5.99	6.02
12	1.28	3.57	5.06	5.76	5.81
13	1.59	4.04	5.57	6.28	7.04

상을 나타내었다. 또한 AE減水劑를 사용한 콘크리트와는 거의 동등하거나 약간 적었다. 이러한 현상은 적정량의 流動化劑 사용은 거의 空氣連行없이 콘크리트의 水密性을 크게 向上시키는 결과로 水密 콘크리트 제조에 매우 有效한 것으로 인정된다.

라. 凍結融解抵抗性

凍結融解作用에 對한 抵抗性에 관하여는, 一般 減水劑를 사용한 콘크리트²⁰⁾ 및 流動化 콘크리트²⁰⁾에서도 空氣量이 큰 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. 본 실험에서 슬럼프 12cm의 베이스 콘크리트 및 슬럼프 18±1cm의 묽은반죽 콘크리트, 空氣連行 및 非空氣連行 流動化 콘크리트, 그리고 AE減水劑를 사용한 콘크리트에 대한 동결용해시험 결과를 정리하면 Table-7, Fig. 15, 16과 같다. 여기서 非空氣連行 流動化 콘크리트의 相對動彈性係數의 變化는 70사이클에서 流動化劑混入量 0.4%의 경우에 평균 29%, 1.0%의 경우에서 평균 24% 정도였고 AE減水劑를 混用한 流動化 콘크리트와 AE減水劑만을 사용한 콘크리트는 다같이 300사이클에서 10% 以內였다. 베이스 콘크리트의 相對動彈性係數의 變化는 100사이클 以前에 急速한 低下현상을 나타내었다. 또한 流動化劑의 混入量 0.4%의 경우에 비하여 混入量 1.0%의 경우 凍結融解抵抗性이 약간 증가하는 현상을 나타내었고, 重量變化도 비슷한 양상을 나타내었다. 流動化劑는 流動化에 의한 氣泡徑의 分布에 變化를 생기게 하는 경우가 있어 어느 정도의 空氣連行性을 가지고 있는 경우가 있을 것으로 생각되기도 하지만, 高性能減水劑自體가 非空

Table-7. Test results on the resistance of concrete to rapid freezing and thawing

Mix. No.	Dynamic modulus* of elasticity(kg/cm ²)	Final cycle No.	Relative dy. mo.** of elasticity(%)	D.F.(%)	Weight*(kg)	Decrease ratio of weight (%)
1	3.561×10 ⁶	45	60	9	4.817	-8.7
2	3.718×10 ⁶	117	60	23	4.858	-5.7
3	4.162×10 ⁶	132	60	26	4.865	-4.9
4	4.369×10 ⁶	189	60	38	4.891	-2.4
5	3.605×10 ⁶	93	60	19	4.860	-5.0
6	4.184×10 ⁶	147	60	29	4.867	-3.1
7	3.798×10 ⁶	101	60	20	4.871	-5.8
8	4.076×10 ⁶	123	60	25	4.881	-5.2
9	3.621×10 ⁶	77	60	15	4.865	-7.4
10	3.983×10 ⁶	98	60	20	4.885	-6.3
11	4.158×10 ⁶	300	99.6	100	4.662	-1.3
12	4.217×10 ⁶	300	99.8	100	4.691	-0.8
13	3.605×10 ⁶	300	98.7	99	4.629	-1.5

* Measuring values before test.

** Measuring values at end of cycle

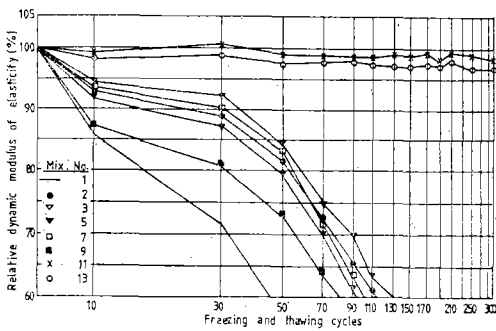


Fig. 15. Resistance of concrete to rapid freezing and thawing at 0.4% dosage of superplasticizers

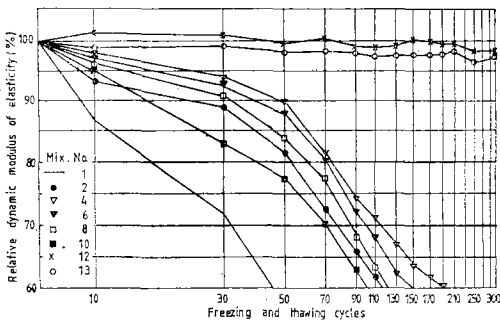


Fig. 16. Resistance of concrete to rapid freezing and thawing at 1.0% dosage of superplasticizers

氣連行性이므로 流動化 콘크리트의 空氣量은 베이스 콘크리트보다 큰 차이는 없는 것으로 보인다. 따라서 流動化劑는 콘크리트의 耐久性 增大에는 큰 效果를 기대하기는 어려우나 AE劑와의 混用에 의하여 콘크리트에 適量의 空氣量을 通行시켜 流動性은 勿論 耐久性 增大에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 結 論

流動化 콘크리트의 基礎的 工學的 特性을 確認하기 위하여 수행된 流動特性, 壓縮·引張· 휨強度, 乾燥收縮, 透水性, 凍結融解抵抗성에 대한 試驗結果를 要約하여 보면 다음과 같다.

1. 소요의 워커빌리티를 얻는 데 필요한 단위수량을 작게 하기 위하여는 流動化劑의 使用量을 增大시키면 효과가 있으나 材料分離傾向이 增大되므로 使用目的에 따른 最適의 流動化劑 混入率이 存在한다고 할 수 있다.

2. 流動化 콘크리트 슬럼프값의 시간경과에 따른 변화는 經過時間 및 混入量 증가에 따라 차이가 크고 베이스 및 묽은반죽 콘크리트보다 현저하다. 슬럼프 12cm의 베이스 콘크리트를 18~19cm로 流動化시킨 경우, 슬럼프값은 시간의 경과와 함께 거의 직선적으로 低下하여 60~70分 정도에서 베이스 콘크리트 값과 거의 동등하게 되었다. 遲延型 流動化

劑는 일반 流動化劑보다 슬럼프減少率이 작았다.

3. 流動化劑 使用量의 증대는 콘크리트의 凝結에 영향을 주지 아니하나, 종래의 리그닌系 AE減水劑의 경우는 현저한 凝結遲延을 초래하였다. 따라서 일반 AE減水劑보다 流動化劑를 사용함이 凝結 및 硬化의 측면에서 유리한 것으로 생각된다.

4. 流動化 콘크리트의 블리이딩은 대략 베이스 콘크리트와 같은 정도로 흡은반죽 콘크리트보다는 10~25% 정도 작았고 AE減水劑를 사용한 콘크리트보다는 약 10% 작았다. 블리이딩에 대응하여 流動化 콘크리트의 沈下정도는 흡은반죽 콘크리트보다 작은 경향이 있으며 沈下에 따른 균열방지에 효과적인 것으로 생각된다.

5. C.F. 값은 流動化劑의 使用量增大에 수반하여 低下하는 경향을 보였고, 베이스 콘크리트보다는 약간 크고 AE減水劑를 사용한 경우보다는 다소 低下 현상을 보였다. 流動化 콘크리트의 V.B. 값은 베이스 콘크리트보다 현저하게 작았고, AE減水劑를 사용한 경우보다는 다소 컸다. 流動化劑混入量 0.4%에서 V.B. 값이 최소로 되어 流動性이 좋았으나 混入量 1.0%의 경우는 진동초기에 시멘트 페스트 및 모르타의 流去로 조골재 등에 의한 Interlocking 현상 등으로 流動性을 악화시켰다.

6. 베이스 콘크리트와 비교하여 流動化 콘크리트의 壓縮強度는 재령 7일의 경우 混入量 및 流動化劑의 종류에 따라 미소한 變動現象을 보였고, 引張 및 靱強度도 비슷한 現象을 보였으며, AE減水劑를 사용한 콘크리트의 壓縮強度는 현저한 低下를 보여 連行공기량 1%의 증가에 대하여 약 4%의 強度低下를 나타내었다.

7. 材齡 6개월의 流動化 콘크리트의 乾燥收縮은 베이스콘크리트와 거의 차이가 없고 흡은반죽 콘크리트에 비하여는 10~16%(1~2×10⁴) 정도 작으며, AE減水劑를 사용한 콘크리트와는 대략 비슷하였다. 단위수량은 콘크리트의 乾燥收縮에 미치는 영향이 매우 크고, 流動化劑에 의한 대폭적인 乾燥收縮의 低減은 기대하기 어려우나 균열방지 방법으로 有效한 것으로 판단된다.

8. 流動化 콘크리트의 透水係數는 베이스 콘크리트에 비하여 평균 10% 정도 低下하였고, 흡은반죽 콘크리트에 비하여는 20×10⁻⁶cm/sec 정도의 대폭적인 低下현상을 보였다. 여기서 流動化 콘크리트의 施工은 거의 空氣連行없이 양질의 水密 콘크리트 제조에 유리한 것으로 생각된다.

9. 非 AE流動化 콘크리트의 凍結融解에 대한 抵抗性은 베이스 콘크리트와 거의 비슷하고 흡은반죽 콘크리트보다는 양호한 편으로 流動化劑使用量의 증가에 따라 차이를 보였다. 또한 AE減水劑를 사용한 콘크리트보다는 현저한 低下현상을 나타내었다. AE減水劑를 사용한 공기량 4.1%인 콘크리트와 流動化劑 및 AE減水劑를 混用한 공기량 4.7%인 콘크리트는 300사이클에서 상대동탄성계수의 변화는 10% 以內로 耐久性이 극히 양호하지만, 베이스 콘크리트는 100사이클 以前에, 흡은반죽 콘크리트는 50사이클 以前에 급속한 低下를 나타내었다. 따라서 流動性이 풍부하고 耐久性이 우수한 流動化 콘크리트 제조에는 적절한 補助AE劑 등의 混用이 필요한 것으로 판단된다.

本 究研는 1982년도 하반기 韓國科學財團의 研究費 支援에 의하여 遂行된 것임.

參 考 文 獻

1. Joint working party of C.A.A and C.C.A., Superplasticizing Admixtures in concrete, C.C.A., London, 1976. 1.
2. 友澤史紀·福土勳, 流動化コンクリートの 現狀と問題點, コンクリート工學, Vol. 16, No.8, 1978, pp.1~7.
3. 服部健一, 高性能減水劑による 分散の 메カニズム, 第8回セメント・コンクリート研究 討論會 講演要旨集, 1981.10 pp.1~4.
4. K. Walz und J. Bonzel, Richtlinien für die Herstellung und Verarbeitung von Flissbeton, Beton, Vol.24, 1974. 9.
5. 土木學會, 高強度コンクリート 設計施工指針(案), 콘크리트·라이브러리, 第47號, 1980.4.
6. 日本建築學會, 流動化コンクリート 施工指針案 同解説, 1983.1.
7. ACI, Superplasticizers in concrete, Pub. SP-62, 1979.
8. ACI, Developments in the use of Superplasticizers, Pub. SP-68, 1981.
9. Canadian Standard Association, Guidelines for the use of Superplasticizing Admixtures

- in Concrete, CSA Preliminary Standard A 226. 5~M, 1981.
10. 文翰英・崔在眞, 레디믹스트 콘크리트의 品質改善을 위한 研究, 大韓土木學會誌, 第3卷 第4號, 1983. 12, pp.33~45.
 11. 文翰英, 流動化콘크리트에 관한 基礎研究, 大韓土木學會誌, 第2卷第2號, 1982. 6, pp.225~238.
 12. 高山・西元・江本, 高強度コンクリートの 配合設計について, 第30回土木學會 年次學術講演會 概要集, 第5部, Oct. 1975, pp.75~76.
 13. 高山・出光・石橋・猿渡, 高強度コンクリートの 配合に 關する基礎研究, セメント技術年報, XXIX, 1975, pp.235~238.
 14. 建設部, 콘크리트 표준시방서, 1982.
 15. 朴承範, 最新土木材料實驗, 文運堂, 1983, pp. 178~181.
 16. 嵩英雄・池田正志, 各種 流動化劑を用いた 콘クリートの ワーカビリティーについて, 第32回 セメント技術大會, 1978. 5
 17. 嵩英雄・佐藤忠博外, 高性能減水劑の 遲延添加による 高性能コンクリートの 研究(1~4報), 日本建築學會 大韓學術講演概要集, 1976. 10.
 18. N.P. Mailvaganam, Factors influencing slump loss in Flowing concrete, ACI SP 62-19, 1979, pp.389~403.
 19. 田澤・米倉・石橋・大野, 流動化コンクリートによる 施工性の 改善について, 第5回コンクリート工學 年次講演會 講演論文集, 1983, pp. 145~148.
 20. W.F. Perenchoi D.A. whitening and D.L. Kantro, Water Reduction, Slump loss, and Entrained Air-Void Systems as influenced by Superplasticizer, ACI. SP 62-8, 1979, pp. 137~155.
 21. Kishitani. K., Oka. S., Rheology and slump loss of Superplasticized Concrete, J. of the Fac. of Eng., The Univ. of Tokyo(B), Vol. XXXVI, No.2, 1981, pp.1~14.
 22. 高山・出光・高性能減水 劑を用いた 低水セメント比 チルタルおよびコンクリートの コンシステンシー, セメント・コンクリート No. 356, Oct. 1976, pp.11~17.
 23. 高・他, 高性能減水劑の 遲延添加による高流動コンクリート, セメント・コンクリート, No. 359, 1977.1.1.
 24. 橋本・田中ほか, 硬練り人工 輕量コンクリートの 高性能減水劑 遲延添加による 水平壓送實驗, 建築學會大會概要集(東海), 1976.10.
 25. 友澤史紀・田中齊, 流動化劑の 性能に 關する實驗的研究, 日本建築學會 大會學術講演概要集 1979. 9.
 26. 嵩英雄・菅浩志・池田正志・押田文雄, 各種 高流動化劑を用いた 高性能コンクリートの ワーカビリティーについて, セ技年報 XXXII, 1978, pp.338~346.
 27. 友澤卓郎他, 高流動化劑を用いた 高級コンクリートの施工, 1977.12.
 28. 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, Mar. 1977, pp. 18~24.
 29. 金鍾千・都德鉉, 減水劑가 콘크리트에 미치는 影響, 韓國農工學會誌 Vol. 24, No.2, 1982.6.
 30. E. Okada M. Hisaka Y. Kazama, Freeze-thaw Resistance of Superplasticized concrete, ACI SP 68-12, 1981.