

# 高性能 減水劑를 사용한 流動化콘크리트의 슬럼프로스 및 施工性 向上에 관한 研究

(An Experimental Study on the Slump Loss and  
Workability Improvement of Flowing Concrete)

金 文 漢

〈서울대 建築學科教授·工博〉

金 武 漢

〈忠南大 建築工學科教授·工博〉

## 1. 序 論

### 1.1 研究의 背景과 目的

최근 건축공사에 있어서 콘크리트의 시공은 레미콘의 보편화와 펌프공법의 도입에 의해 현저한 진보와 합리화가 진행되고 있다. 한편 시공능률을 우선하여 워커빌리티와 폼파빌리티를 개선하기 위해 단위수량에 증가하는 경향이고, 더욱 최근 골재품질의 악화가 이에 박차를 가하여 콘크리트의 품질저하가 큰 문제로 제기되고 있다. 이러한 단위수량의 증가는 아직 굳지 않은 콘크리트에서 브리딩의 대량 발생을 초래하고, 레이턴스나 콜드조인트가 증가함과 동시에 경화후의 콘크리트의 건조수축을 증대시켜 콘크리트 구조물에 균열이 많이 발생하므로 콘크리트 구조물의 내구성을 저하시키는 원인이 되고 있다.

유동화 콘크리트는 건조수축의 저감, 브리딩의 감소, 수밀성 및 기밀성의 개선, 수화발열량의 감소, 내구성의 향상등 콘크리트의 품질개선과 펌프 압송시동의 시공능률의 향상, 공기의 단축, 초기강도의 증대, 콘크리트 바닥마감등의 마감시간의 단축등 콘크리트의 시공성의 개

선을 목적으로 하여 사용하게 된 것으로 고성능 감수제를 응용한 유동화 콘크리트는 1971년 경 서독에서 된비빔 콘크리트의 시공성 개선을 목적으로 고안 된 것으로 1974년에 유동화 콘크리트의 제조와 시공에 관한 지침이 작성되어 1978년에 DIN 1045로서 정식규격으로 채용되고, 영국은 1976년에 시멘트 콘크리트 협회와 시멘트 혼화제 협회가 유동화 콘크리트에 관한 보고서를 작성하고, 미국은 1980년부터 ASTM C-494에 고성능 감수제에 관한 규격을 제정하고, 카나다는 카나다 규격협회가 1981년에 콘크리트용 유동화제의 사용지침을 제정했다.

이웃 일본에서는 1975년 경부터 개발연구가 진행되어 종래의 묽은비빔 콘크리트와 동일한 시공성을 유지하면서 된비빔 콘크리트에 가까운 품질의 콘크리트를 얻을 수 있다는 것에 주목하여 이미 많은 시공실적을 올리고 있으며, 1979년 일본 건축 학회에 의해 “유동화 콘크리트의 기술의 現狀”이 발간되고, 이어 1983년 동 학회에 의해 “유동화 콘크리트 시공 지침안·동해설”이 발간되어 학계 및 실무계에 많은 공헌을 하고 있으며 유동화 콘크리트의 사용실적은 매년 급격히 증가하고 있다.

이러한 국내외의 유동화 콘크리트에 관한 연구와 이의 실용화를 위해 본 연구는 콘크리트의 품질 및 시공성 향상이라는 측면에서 고성능 감수제를 사용한 유동화 콘크리트의 유동화 성능 및 효과등의 기초적인 물성을 실험적으로 규명하는 데 그 목적이 있다.

Ⅲ시리즈는 아직 굳지 않은 콘크리트의 유동화 성능 및 효과 그리고 경시변화를 비교분석하며, Ⅳ시리즈는 유동화 콘크리트의 기초적인 물성을 검토한다.

## 2. 實驗計劃 및 實驗方法

### 1.2 연구의 구성

본 연구는 4시리즈로 구성되어 있다. I 시리즈는 시멘트 페이스트, II 시리즈는 시멘트 몰탈,

### 2.1 실험개요

표1 과 같이 I 시리즈는 물시멘트비 40% 및 50% 베이스 시멘트 페이스트와 유동화시멘트

표 1. 실험계획

시리즈	W/C (o/wt)	SP제 혼입율 (o/wt)	단위수량 (gr)	시멘트 (gr)	후로치 측정 및 사진촬영	비 고	W/C (o/wt)	SP제 혼입율 (o/wt)	단위수량 (gr)	시멘트 (gr)	후로치 측정 및 사진촬영	비 고
I	0.40	0.00	120	300	0	유동성 검토	40→27.3	0.00	82	300	0	감수성능 검토
	0.50	4.00	150				50→32.7	4.00	98			

시리즈	W/C (o/wt)	SP제 혼입율 (o/wt)	단위수량 (gr)	시멘트 (gr)	잔골재 잔골재	시멘트	측 정 항 목			비 고
							후로치 측정	압축강도시험 (5φ×10m)	사진 촬영	
II	25	0.00	360	1,440	720	1:0.5	○	○	○	유동성 및 강도성상 검토
	30			1,200	1,440	1:1.2	○	○	○	
	40	2.00		900	1,800	1:2.0	○	○	○	
	50			720	2,520	1:3.5	○	○	○	

시리즈	SP제 혼입율 (o/wt)	베이스콘크리트				슬럼프·후로·다짐계수의 경시변화시험					사진 촬영	비 고	
		W/C (o/wt)	슬럼프 (cm)	잔골재	굵은 골재	혼입 후	15분 후	30분 후	45분 후	60분 후			90분 후
III	0.00	40	8	강모래	강자갈	○	○	○	○	○	○	○	콘크리트의 콘 시스템시 및 워 커빌리티의 검토
	2.00												

시리즈	W/C (o/wt)	SP제 혼입율 (o/wt)	아직 굳지 않은 콘크리트				경화콘크리트 동탄성 계수 및 압축강도시험				비 고		
			슬럼프 (cm)	공기량 (%)	비빔온도 (°C)	단위중량 (kg/l)	7 일	14일	28일	90일			
IV	40	0.00	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	콘크리트의 유동화성능 및 각 재령별 강도성 검토
	60	0.50											
		1.00											
		1.50											

페이스트를 만들어 유동화 성능 및 효과, 감수 효과를 각각 비교검토한다.

II 시리즈는 물시멘트비 25%, 30%, 40% 및 50%의 베이스 몰탈과 유동화 몰탈을 만들어 후로치를 측정하여 유동화 성능 및 효과를 비교검토한 후 5%×10cm의 공시체를 만들어 유동화 전후의 강도성상을 비교검토한다.

III 시리즈는 물시멘트비 40%, 슬럼프 8 cm의 베이스 콘크리트에 SP 제 혼입율 2%의 유동화 콘크리트를 만들어 혼입 직후, 15분후, 30분후, 45분후, 90분후에 슬럼프치, 후로치, C.F 치의 경시변화를 측정하여 콘크리트의 콘시멘트비 정성적, 정량적으로 비교검토한 후 콘크리트의 유동화 성능 및 효과를 비교검토한다.

IV 시리즈는 물시멘트비 40% 및 60%의 베이스 콘크리트에 SP 제 혼입율 0.0%, 0.5%, 1.0%, 및 1.5%의 유동화 콘크리트를 만든 후 SP 제 혼입율에 따른 슬럼프치, 공기량, 단위용적중량, 비빔온도등의 아직 굳지 않은 콘크리트의 물성과 동탄성계수, 압축강도등의 경화 콘크리트의 물성을 비교검토한다.

본 실험에 사용한 시멘트 및 골재의 물리시험

결과는 표 2와 표 3 과 같고 고성능 감수제는 표 4와 같은 NL-4000을 사용한다.

## 2.2 시멘트 페이스트 몰탈 및 콘크리트의 조합 및 공시체 제작

시멘트 페이스트·몰탈·콘크리트의 유동화 성능 및 효과를 비교 검토하기 위하여 시멘트 페이스트·몰탈 및 콘크리트의 조합은 표 5, 표 6 및 표 7 과 같이 결정하고, SP 제의 혼입율에 따른 유동화 전후의 콘크리트의 시공성 및 강도성상을 검토하기 위하여 표 8 과 같이 결정하였다.

베이스 콘크리트의 조합은 일본 건축 학회의 “콘크리트의 조합설계 조합관리 품질검사 지침안·동해설”중의 참고 조합표를 기초로 시험비법을 행하여 결정하고, 비비기 및 치기에 관해서는 콘크리트의 강도 시험용 공시체의 제작방법에 준하여 3분비빔(1분비빔-1분휴지-2분비빔)으로 하였다.

비빔후의 콘크리트는 슬럼프, 공기량, 단위용적중량, 비빔온도를 각각 측정하였으며 압축강도용 10%×20cm의 실린더형 강제몰드에 콘크

표 2. 시멘트의 물리적 성질

종 류	비 중	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	응결(h-m)	안정성	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
			초결종결		3 일	7 일	27일
보통포틀랜드 시멘트	3.15	3,240	5-0 7-20	양 호	194	261	323

표 3. 골재의 물리적 성질

구 분	입 도 (mm)	조립율 (FM)	비 중	흡수율 (%)	단위용적중 량(kg/ℓ)	공극율 (%)	비 고
잔 골 재	2.5	2.33	2.36	1.01	1.504	36	심천산
굵은골재	20	7.81	2.53	1.50	1.623	34	심천산

표 4. NL-4000의 물성

형 태	색 조	주 성 분	독 성	비 중	P. H
액 상	담갈색	High condensation triazine	없 음	1.13±0.01	7~9

리트를 치고 캐핑을 한 다음 24시간 후 물드를 제거하고 소요의 재령별로 20±3℃의 수중 표준 양생을 목표로 하였다.

### 2.3 시멘트 페이스트·물탈 및 콘크리트의 각종 시험방법

시멘트 페이스트 및 물탈은 후로치를 측정하고 II 視에 의해 유동화 현상의 유동화 성능 및

효과를 비교 검토하였다.

아식 굳지 않은 콘크리트의 실험방법으로 슬럼프는 콘크리트의 슬럼프 시험방법, 후로치는 후로시험방법, C·F 치 C Compacting Factor) 는 다짐계수 시험방법에 의해 콘크리트의 유동화 성능 및 효과를 검토하고, 공기량은 굳지 않은 콘크리트의 공기량의 압력에 의한 시험방법, 단위용적중량은 시험방법 및 공기량의 중량에

표 5. 시멘트 페이스트의 조합과 물성

시리즈	W/C (o/wt)	SP제 혼입율 (o/wt)	SP제 혼입량 (gr)	단위 수량 (gr)	시멘트 (gr)	후 로 치 (cm)	W/C (o/wt)	SP제 혼입율 (o/wt)	SP제 혼입량 (gr)	단위 수량 (gr)	시멘트 (gr)	후 로 치 (cm)
I	40	0.00	0	120	300	5.2 (5.0×5.4)	40→ 27.3	0.00	0	82	300	0
		4.00	12	120	300	17.5 (17.0×18.0)	32%감수	4.00	12	82	300	5.5 (5.3×5.6)
	50	0.00	0	150	300	9.4 (9.4×9.3)	50→ 32.7	0.00	0	98	300	6.9 (6.8×7.0)
		4.00	12	150	300	15.9 (16.3×15.5)	35%감수	4.00	12	98	300	9.5 (9.6×9.4)

표 6. 시멘트 물탈의 조합과 물성

시리즈	W/C (o/wt)	SP제 혼입율 (gr)	SP제 혼입량 (gr)	단위수량 (gr)	시멘트 (gr)	잔골재 (gr)	시멘트 : 잔골재	후 로 치 (cm)	28일 압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> ) (5φ×10cm)
II	25	0.00	0.00	360	1,440	720	1 : 0.5	13.2 (13.4×13.0)	480
		2.00	28.80	360	1,440	720	1 : 0.5	15.6 (15.7×14.6)	470
	30	0.00	0.00	360	1,200	1,440	1 : 1.2	13.4 (13.4×13.4)	441
		2.00	24.00	360	1,200	1,440	1 : 1.2	17.3 (17.4×17.2)	425
	40	0.00	0.00	360	900	1,800	1 : 2.0	15.3 (15.4×15.2)	341
		2.00	18.00	360	900	1,800	1 : 2.0	18.8 (18.7×18.7)	324
	50	0.00	0.00	360	720	2,520	1 : 3.5	12.6 (11.4×13.9)	398
		2.00	14.40	360	720	2,520	1 : 3.5	14.3 (14.2×14.3)	280

표 7. 콘크리트의 조합과 콘크리트의 물성

시리즈	W/C (o/wt)	단 위 수 량 (kg/m <sup>3</sup> )	절대용적 (ℓ/m <sup>3</sup> )			SP제 혼입율 (o/wt)	경과 시간 (min)	굳지 않은 콘크리트				
			시멘트	잔골재	굵은 골재			슬럼프 (cm)	후 로 치 (cm)	다짐 계수	공기량 (%)	비빔온도 (℃)
III	40	171	136	242	441	0.00	비빔 직후	8.0	41.3 (40.5×42.0)	0.96	2.30	24.0
							15	6.0	37.0 (37.0×37.0)	0.90	-	24.0
							30	3.5	36.5 (38.0×35.0)	0.92	-	25.0
							45	5.5	37.0 (37.0×37.0)	0.91	-	25.0
							60	3.5	30.5 (31.0×30.0)	0.85	-	25.5
							90	3.0	32.5 (32.0×33.0)	0.85	-	25.5
							비빔 직후	21.0	61.0 (59.0×63.0)	0.01	0.65	25.0
							15	22.0	57.3 (58.0×56.5)	1.00	-	25.0
							30	20.5	52.5 (52.0×53.0)	0.99	-	25.5
							45	21.5	59.3 (60.0×58.5)	1.00	-	26.0
							60	21.0	52.5 (53.0×52.0)	0.99	-	25.5
							90	18.0	45.0 (47.0×43.0)	0.98	-	25.5

표 8. 콘크리트의 조합과 아직 굳지 않은 콘크리트의 물성

시리즈	W/C (o/wt)	SP제 혼입율 (o/vℓ)	잔골 재율 (o/vℓ)	단 위 수 량 (kg/m <sup>3</sup> )	절대용적 (ℓ/m <sup>3</sup> )			아직 굳지 않은 콘크리트			
					시멘트	잔골재	굵은골재	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	비빔온도 (℃)	단위용적 중량 (kg/ℓ)
IV	40	0.0	35.5	171	136	242	441	4.0	1.7	24	2,334
		0.5						14.5	1.8	25	2,381
		1.0						20.0	1.3	25	2,542
		1.5						24.5	0.7	24	2,549
	60	0.0	40.6	165	87	299	439	11.0	1.5	24	2,256
		0.5						14.0	0.7	24	2,330
		1.0						19.6	0.5	24	2,347
		1.5						20.5	0.5	24	2,381

의한 시험방법에 따라 측정하고 콘크리트의 비빔온도는 봉상 알콘 온도계를 사용하여 측정하였다,

경화 콘크리트의 각 제령에 있어서의 압축강도용 공시체는 소정의 양생이 끝난 후 공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성 계수, 동전단탄성 계수 및 동포아손비 시험 방법에 의해 종진동에 의한 1차 공명주파수를 측정하여 동탄성계수를 산출하였다.

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3.1 시멘트 페이스트 및 몰탈의 流動化性能 및 特性

표5는 유동화 전후의 시멘트 페이스트의 조합과 물성을 나타낸 것이고, 그림1은 시멘트 페이스트의 단위수량과 후로치와의 관계를 SP제 혼입율별로 도시한 것이다. 그림1과 같이 SP제의 혼입율을 4%로 한 경우 물시멘트비 40%에서 32%의 감수, 물시멘트비 50%에서 35%의 감수효과에도 불구하고, 베이스 페이스트와 동일수준의 후로치를 얻을 수 있음을 보여주고 있다.

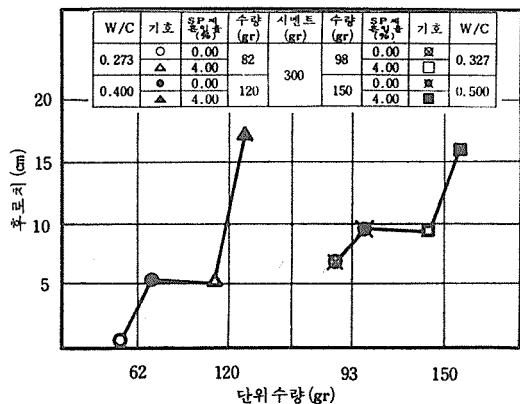


그림 1. 시멘트 페이스트의 단위수량과 후로치와의 관계

표6은 유동화 전후의 시멘트 몰탈의 조합과 물성시험결과이고, 그림2에 의하면 시멘트 몰

탈의 유동화 효과도 상당한 것으로 나타난 반면, 유동화 전후의 물시멘트비와 압축강도의 관계를 살펴보면 그림3과 같이 유동화 몰탈이 약간 작으나 유의적인 차는 없는 것으로 보인다.

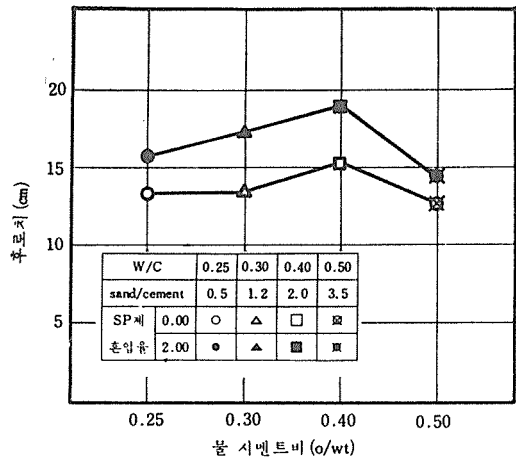


그림 2. 시멘트 몰탈의 물 시멘트비와 후로치와의 관계

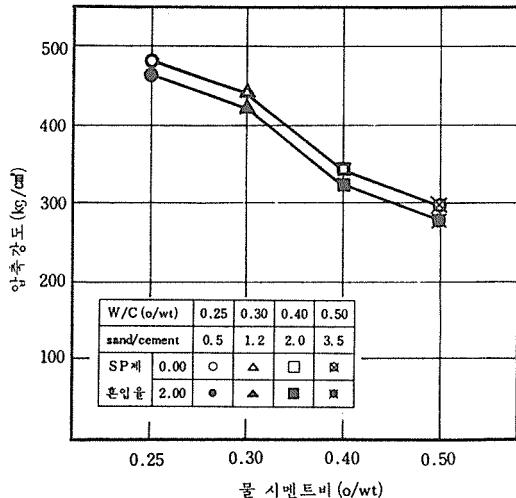


그림 3. 시멘트몰탈의 물 시멘트비와 압축강도와의 관계

#### 3.2 아직 굳지 않은 콘크리트의 유동화 특성 및 경시 변화

표 7 은 물시멘트비 40% 슬럼프 8cm의 베이스 콘크리트에 SP제 혼입율 2%의 유동화 콘크리트를 만들어 유동화 성능 및 효과를 정성적, 정량적으로 검토하기 위하여 슬럼프치, 후로치, C·F치 등의 경시변화를 측정 한 결과이다.

그림 4는 고성능 감수제의 혼입율별 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트의 슬럼프의 경시변화, 그림 5는 SP제의 혼입율별 후로치의 경시변화, 그림 6는 SP제의 혼입율별 C·F치의 경시변화를 도시한 것이나 유동화 성능이 현저하게 개선되고 베이스 콘크리트에 비해 경시변화가 적게 나타나고 있다.

유동화 콘크리트의 후로치는 슬럼프치 및 C·F치에 비하여 상대적으로 경시변화가 크게 나타나고 있고 유동화 콘크리트의 콘시멘트의 指標는 비빔 직후부터 서서히 작아지다가 비빔 후 30분~45분 사이에 약간 커지는 경향을 보여주고 있다.

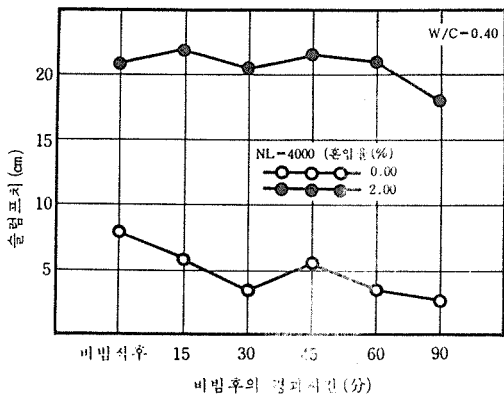


그림 4. 고성능 감수제의 혼입율 슬럼프의 경시변화

그림 7은 슬럼프치와 후로치와의 관계, 그림 8은 CF치와 슬럼프치와의 관계를 도시한 것으로 나타나고 있다.

### 3.3 콘크리트의 流動化效果 및 强度特性

표 8은 물시멘트비 40% 및 60%의 콘크리트

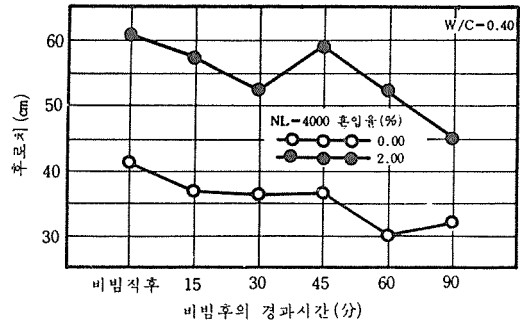


그림 5. 고성능 감수제의 혼입율별 후로치의 경시변화

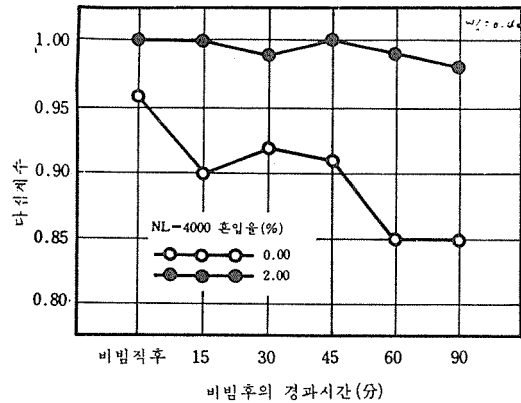


그림 6. 고성능 감수제의 혼입율별 다짐계수의 경시변화

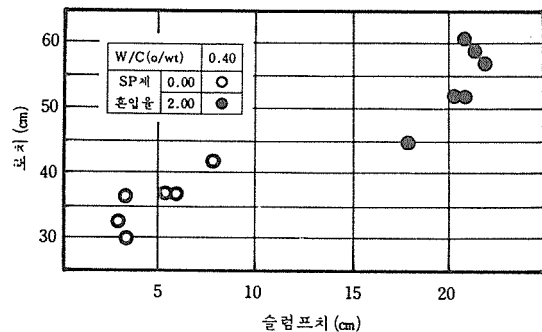


그림 7. 슬럼프치와 후로치와의 관계

에 대하여 SP제 혼입율별 아직 굳지 않은 콘크리트의 시험결과를 나타낸 것으로 SP제의 혼입율이 증가함에 따라 공기량이 감소하는 경

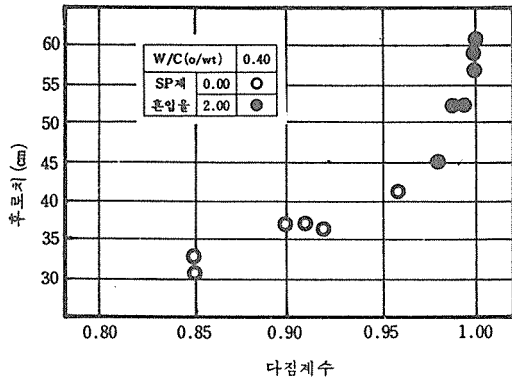


그림 8. 다짐계수와 후로치와의 관계

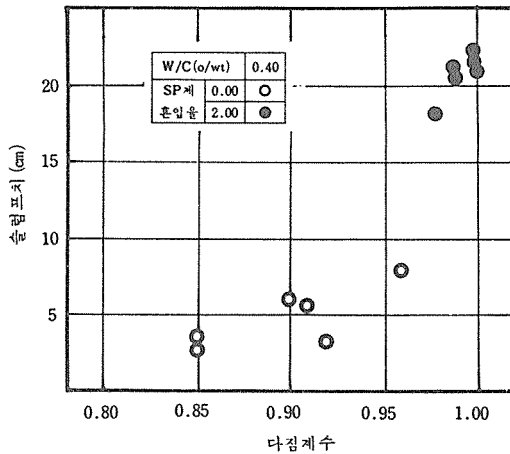


그림 9. 다짐계수와 슬럼프치와의 관계

향을 보이고 있어 SP 제가 비공기연행성임을 보여주고 있다.

SP 제 혼입율과 슬럼프치와의 관계를 나타낸 그림 10에 의하면 SP 제의 혼입율이 증가할수록 슬럼프치가 현저하게 증가하는 경향을 보여주고 있으나 SP 제의 혼입율이 동일한 경우 물시멘트비 40%의 경우가 60%의 경우보다 슬럼프 값이 상대적으로 크게 증가하는 경향을 보여주고 있다.

SP 제의 혼입율별 각재령과 압축강도와의 관계를 도시한 그림 11에 의하면 물시멘트비 40% 및 60% 공히 유동화 콘크리트가 베이스 콘크리트보다 높은 강도 발현을 보여주고 있다.

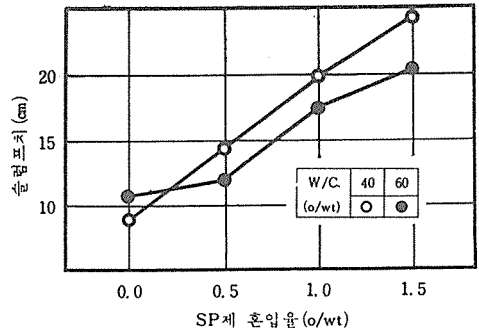


그림 10. SP 제 혼입율과 슬럼프치와의 관계

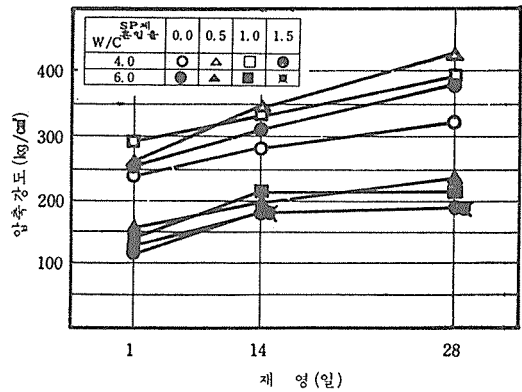


그림 11. SP 제 혼입율별 재령과 압축강도와의 관계

표 9는 경화 콘크리트의 시험결과로 동탄성 계수와 압축강도의 사이에는 양호한 상관관계를 가지고 있고, 유동화 콘크리트의 경우에도 그 상관성이 상당한 것을 보여주고 있다.

각 재령과 압축강도의 증진관계를 고찰하여 보면 SP 제의 혼입율에 따라서 약간 불규칙한 현상을 보이고 있으나 SP 제 혼입율이 커질수록 압축강도가 저하되는 경향을 보이고 있어 시공성의 향상과 강도성상의 개선이라는 측면에서 적절한 SP 제의 혼입율에 대한 정성적, 정량적인 심도있는 연구가 필요함을 시사하고 있다. 재령 28일의 경우 물시멘트비 40%에서 혼입율 0.5%인 경우 425kg/cm²로 베이스 콘크리트인 경우 316kg/cm² 경우보다 109kg/cm²의 높은



표 9. 경화콘크리트의 시험결과

시리즈	W/C (o/wt)	SP제 혼입율 (o/wt)	단위용량중량 (kg/ℓ)			동탄성계수 ( $\times 10^5$ kg/cm <sup>2</sup> )			압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
			7 일	14일	28일	7 일	14일	28일	7 일	14일	28일
IV	40	0.0	2,398	2,337	2,422	2.75	3.39	3.72	240	281	316
		0.5	2,398	2,339	2,403	3.44	3.46	3.60	264	345	425
		1.0	2,408	2,339	2,415	3.26	3.18	3.60	290	337	386
		1.5	2,322	2,392	2,417	3.51	3.49	3.15	262	312	379
	60	0.0	2,391	2,302	2,374	3.02	3.01	3.60	116	182	188
		0.5	2,362	2,312	2,379	2.97	3.14	3.32	149	200	227
		1.0	2,366	2,332	2,373	3.01	2.98	3.22	144	210	215
		1.5	2,366	2,338	2,380	2.84	3.06	3.31	129	183	190

강도를 나타내고 있다. 물시멘트비 60%인 경우에도 같은 경향을 보여주고 있어 적절한 고성능 감수제의 활용에 의해 아직 굳지 않은 콘크리트의 유동화 성능의 대폭적인 개선과 더불어 경화 콘크리트에서의 강도성장 개선을 시사해 주고 있다.

#### 4. 結 論

고성능 감수제를 사용한 유동화 콘크리트의 슬럼프로스 및 시공성 향상에 관한 본 실험 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 유동화 시멘트 페이스트의 경우 대폭적인 감수효과에도 불구하고 베이스 페이스와 동일 수준의 후로치를 얻을 수 있었고 SP 제의 유동화 전후의 시멘트 물탈의 압축강도 발현에 있어 유의적인 차는 없었다.

2) SP 제의 혼입에 의해 유동화 성능이 현저하게 개선되고 유동화 콘크리트가 베이스 콘크리트에 비해 슬럼프치, 후로치, SF 치 등의 경시 변화가 적게 나타나고 있다.

3) SP 제의 혼입량이 증가하면 유동화 효과가 현저하여 시공성 향상을 기할 수 있고 적절한 혼입량에 의해 콘크리트의 강도 성장을 대폭적으로 개선할 수 있다.\*