

# 레디믹스트 콘크리트의 品質改善을 위한 研究

## A Study for Improving on Quality of Ready Mixed Concrete

文	翰	英*
Moon,	Han	Young
崔	在	眞**
Choi,	Jae	Jin

### Abstract

In the course of transportation of ready mixed concrete, it sometimes happens that time of haul from mixing at a batching plant to placing of the concrete at a job site is prolonged too much.

When it does happen, improvement in the concrete workability needs to be made by proper measures. It is proposed, therefore, to discuss the quality of concrete modified by time of haul and to search for methods for improvement of the quality by means of adding cement and water or superplasticizer.

It was found in this experiment that retempering concrete with superplasticizer is useful in coping with the quality deterioration.

### 要 旨

레디믹스트콘크리트가 배치 플랜트에서 출하되어 현장에서 타설을 완료 할 때까지의 운반시간이 지연되는 경우가 있으며, 이로 인하여 워커빌리티가 저하되어 적절한 조치를 취하지 않고서는 시공이 어려운 문제점이 종종 야기되고 있다. 그래서 레디믹스트콘크리트의 운반시간에 따른 품질변화를 알아보고, 저하된 워커빌리티의 개선과 아울러 소요의 품질을 유지하기 위한 수단으로 시멘트와 물 및 유동화제를 추가로 첨가하는 방법과 유동화제의 적정 첨가량을 구하기 위한 실험을 실시하였다. 그 결과 레디믹스트콘크리트에 유동화제를 첨가하여 재믹싱함으로써 품질개선에 얼마간 유효한 결과를 얻었다.

### 1. 序 論

레디믹스트콘크리트는 배치 플랜트에서 믹싱한 콘크리트를 공사현장까지 운반하여 납품하는 굳지 않은 콘크리트로서 운반차의 성능과 운반

시간에 따라 주지하는 바와 같이 콘크리트의 품질이 변동하는 문제점이 있다. 그래서 에지테이터 트럭의 성능이나 운반에 대하여 한국공업규격에 상세한 규정을 두고 있으며<sup>(1)</sup> ASTM에서는 믹싱 후 타설시 까지의 시간을 90분 이내, 에지테이터 드럼의 회전수는 300회 이내로 정하고 있다<sup>(2)</sup>. 그러나 레디믹스트콘크리트(베미콘

\* 正會員 · 漢陽大學校 工科學科 土木工學科 副教授

\*\* 正會員 · 漢陽大學校 大學院 碩士過程

으로 약함)의 장거리 운반 및 교통사정의 악화, 타설현장의 준비 미비, 갑작스런 기상 변화 등으로 인하여 위의 규정을 이행하지 못하는 경우가 적지 않게 발생하고 있는 것이 현실이다. 또한 허용운반시간 이내에서도 시멘트의 수화작용, 공기포의 소멸, 기온의 영향 등으로 인하여 워커빌리티가 저하하게 되므로 워커빌리티의 허용범위를 지키지 못하여 반쯤되는 사례가 종종 발생한다<sup>(3)</sup>.

그래서 레미콘의 운반시간에 따른 품질변화의 정도를 알아보기 위하여 레미콘 트럭을 사용하여 운반시간에 따라 슬럼프의 변화 및 강도를 측정하였으며, 유동성 손실을 회복시키기 위하여 물을 추가로 첨가한 레미콘의 강도에 대하여 검토하였다. 그리고 레미콘의 품질개선을 위한 연구의 일환으로 유동성을 회복시키고, 소요의 품질을 유지하기 위한 수단으로 시멘트와 물을 추가첨가하는 방법과 혼화제 중에서 특히 분산성이 우수한 유동화제를 첨가하는 방법에<sup>(4)</sup> 착안하여 실험실과 레미콘 트럭을 사용한 현장실험결과에 대하여 연구고찰하였다.

레미콘에 시멘트와 물을 첨가함으로써 품질개

선에 얼마간 유효하였으나, 현장의 계량시설, 시멘트와 물량의 환산 및 레미콘 트럭 내의 믹싱 상태에 대한 품질보장이 문제점으로 지적되었다. 한편 레미콘 트럭에 유동화제를 첨가하여 재믹싱함으로써 워커빌리티의 개선과 아울러 레미콘의 품질향상에도 유효한 결과를 얻었다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트

시멘트는 쌍용양회사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 물리적 성질을 시험한 결과는 표 1과 같다.

#### (2) 골재

굵은골재 최대치수 25 mm의 강자갈과 강모래를 사용하였으며 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

#### (3) 流動化劑(superplasticizer)

멜라민설폰산염계 복합물을 주성분으로 하는 포조리스물산(주) 제품인 NP-20을 사용하였으며 그 물리적 성질은 표 3과 같다.

### 2.2 실험방법 및 콘크리트의 배합

표 1. 시멘트의 물리적 성질

비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(시:분)		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
		초 결	중 결	3 일	7 일	28 일
2,950	0.19	3:40	6:30	170	220	300

표 2. 골재의 물리적 성질

골재의 종류	구분	항목	비 중	흡 수 율 (%)	단위용적중량(kg/m <sup>3</sup> )	실 적 물 (%)	조 립 물	유기불순물	마 모 율 (%)
2	2.57	1.84	1,730	67	2.86	"	—		
3	2.55	1.40	1,552	61	2.47	"	—		
굵은골재	1	2.64	0.98	1,640	62	6.71	—	26	
	2	2.59	2.35	1,650	64	6.84	—	—	
	3	2.63	1.51	1,682	64	7.36	—	28	

표 3. 유동화제의 물리적 성질

의 관	비 중 (20°C)	pH	점 도 (CP/20°C)	동 결 온 도 (°C)
흑 갈 색 액 체	1.12~1.14	7~9	약 10	-5

(1) 레미콘의 품질에 대한 실험

실험-I과 실험-II로 구분하여 실험하였다.

실험-I :

배치 플랜트에서 혼합한 3m<sup>3</sup>의 레미콘을 에지테이터 트럭에 싣고 5시간동안 1.5 rpm으로 드럼을 회전하면서 1시간 간격으로 레미콘을 배출하여 실험을 하였다. 이때 레미콘의 배합은 표 4와 같으며 실험시의 기온은 20~24°C, 습도는 65%정도이었다. 실험은 소정의 시간이 경과했을 때 에지테이터 드럼을 1분간 고속으로 회전시켜 콘크리트를 배출하여 슬럼프 시험과 압축강도용 공시체를 제작하고, 일부는 가경식 믹서에 투입하여 최초의 슬럼프값으로 회복되도록 물을 추가첨가하여 3분간 믹싱한 후 압축강도 및 휨강도용 공시체를 제작하였다. 한편으로는 강도의 저하를 방지하기 위한 수단으로 시멘트와 물을 추가로 첨가하고 압축강도용 공시체를 제작하여 비교실험을 하였다. 이때 시멘트의 첨가량은 운반시간에 따라 3단계로 사용하였으며 표 5와 같다.

표 4. 레미콘의 배합

구분	슬럼프 (cm)	물시멘트비 (%)	잔골재 (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )			
				물	시멘트	잔골재	합계
실험-I	12	62	42	194	312	772	1,087
실험-II	14	73	42	198	270	773	1,076

표 5. 시멘트의 첨가량

믹싱 후 운반시간 (시)	3종류의 시멘트 첨가량 (kg/m <sup>3</sup> )
2	10, 20, 30
3	20, 30, 40
4	30, 40, 50
5	50, 60, 70

실험-II :

3.5m<sup>3</sup>의 레미콘을 에지테이터 트럭에 적재하여 1시간 주행한 다음, 7시간 동안 2rpm으로 드럼을 회전하면서 슬럼프 시험과 물의 추가첨가에 따른 콘크리트의 응결 및 압축강도시험을 하였다. 레미콘의 배합은 표 4의 실험-II로서 실험중 기온은 21~29°C였으며, 습도는 30~55%이었다. 콘크리트의 응결시간은 Proctor 판입저

항시험에 의하여 실시하였다.

(2) 유동화제를 첨가한 콘크리트의 실험

슬럼프 12cm 전후의 레미콘이 공장에서 출하되어 운반과정에서 기온의 변화, 운반시간의 지연 등으로 인하여 슬럼프 값이 저하하는 경우를 가상하여 슬럼프 2~10cm 범위의 콘크리트(base concrete 라 함)에 유동화제를 첨가하여 콘크리트의 슬럼프값 12~18cm의 유동화 콘크리트(flowing concrete 라 함)를 만드는데 소요되는 유동화제의 사용량을 구하고 아울러 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트의 품질을 비교하기 위하여 압축강도시험을 하였다.

믹싱방법 :

40l 용량의 가경식 믹서를 사용하여 재료를 전부 투입한 후 3분간 믹싱함으로써 베이스 콘크리트를 만들고, 베이스 콘크리트에 유동화제를 첨가한 후 1분 30초간 재믹싱(retempering 이라 함)하여 유동화 콘크리트를 제조하였다. 이때 실험실과 콘크리트의 온도는 20~25°C의 범위였다.

Slump loss 측정 :

콘크리트를 믹서에서 배출하여 수분이 증발하지 않도록 콘크리트 표면을 비닐로 잘 덮어 세워 90분 동안 방치하였으며 30분 간격으로 거품비비기를 실시하여 슬럼프값의 변화상태를 측정하였다.

콘크리트의 배합 :

콘크리트의 배합은 단위시멘트량 300kg(No. 1~9), 350kg(No. 10~21) 및 450kg(No. 22~33)의 3종류에 대하여 잔골재율을 40%로 정했으며 슬럼프값, 물시멘트비 및 유동화제의 사용량은 표 6과 같다.

(3) 레미콘 트럭에 유동화제를 첨가한 실험

슬럼프 12cm 정도의 레미콘 3m<sup>3</sup>를 에지테이터 트럭에 싣고 90분동안 30분 간격으로 배출하여 슬럼프를 측정하였으며, 경과시간 90분에 유동화제를 첨가하여 드럼을 15rpm으로 1분 30초간 고속회전한 후 슬럼프 시험과 압축강도용 공시체를 제작하였다. 이때 레미콘의 배합은 표 7과 같다. 실험시의 기온은 30°정도이며, 콘크리트의 온도는 32~34°C이었다.

표 6. 콘크리트의 배합

No.	Slump (cm)	W/C (%)	NP-20(cc/C=100kg)
1	6	64.3	—
2	12	64.3	650
3	18	64.3	1,400
4	8	66.0	—
5	12	66.0	440
6	18	66.0	1,030
7	10	67.7	—
8	12	67.7	240
9	18	67.7	610
10	2	51.1	—
11	12	51.1	970
12	18	51.1	1,910
13	4	52.3	—
14	12	52.3	860
15	18	52.3	1,730
16	6	53.7	—
17	12	53.7	550
18	18	53.7	1,160
19	8	55.1	—
20	12	55.1	240
21	18	55.1	600
22	2	41.8	—
23	12	41.8	920
24	18	41.8	1,380
25	4	42.9	—
26	12	42.9	760
27	18	42.9	1,180
28	8	44.4	—
29	12	44.4	350
30	18	44.4	650
31	10	45.6	—
32	12	45.6	140
33	18	45.6	380

표 7. 레미콘의 배합

슬럼프 (cm)	물시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단위량(kg/m³)			
			물	시멘트	잔골재	굵은골재
12±1	56.3	40	197	350	720	1,100

3. 실험 결과

3.1 레미콘의 운반시간에 따른 물성에 대한 실험결과

레미콘의 운반시간에 따른 슬럼프와 압축강도

의 변화를 알아보기 위하여 실험한 결과가 표 8이며 믹싱 직후의 슬럼프값으로 회복시키기 위하여 레미콘의 운반시간에 따라 물을 첨가하여 콘크리트의 응결시간 및 강도를 측정 한 결과가 그림 1 및 표 9, 표 10이다.

표 8. 레미콘의 운반시간에 따른 슬럼프와 압축강도의 시험결과(실험-I)

운반시간 (시)	슬럼프 (cm)	압축강도(kg/cm²)	
		7 일	28 일
0	12.0(100)	155(100)	235(100)
1	11.0( 92)	158(102)	252(107)
2	9.0( 75)	162(105)	238(101)
3	7.0( 58)	189(122)	262(111)
4	4.0( 33)	193(125)	285(121)
5	0( 0)	175(113)	253(108)

( )는 믹싱 직후의 슬럼프 및 강도에 대한 비

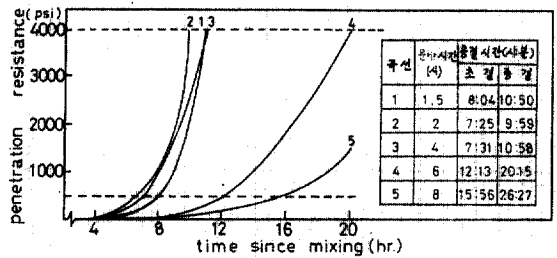


그림 1. 레미콘의 믹싱 후 경과시간에 따른 Proctor의 관입저항치

표 9. 레미콘의 운반시간에 따른 물의 첨가량 및 강도 시험결과(실험-I)

운반시간 (시)	첨가수량 (kg/m³)	압축강도(kg/cm²)		휨강도* (kg/cm²)
		7 일	28 일	
0	—	155(100)	235(100)	41(100)
1	—	158(102)	252(107)	38( 93)
2	7.0	159(103)	237(101)	37( 90)
3	11.6	163(105)	247(105)	37( 90)
4	25.6	150( 97)	236(100)	39( 95)
5	58.3	100( 65)	175( 74)	29( 71)

\*표 : 휨강도는 28일 강도.

3.2 레미콘에 시멘트와 물을 첨가한 경우에 대한 실험결과

레미콘을 장시간 운반하는 경우에 소요의 품질을 유지하기 위한 수단으로 시멘트와 물을 첨

표 10. 레미콘의 운반시간에 따른 물의 첨가량 및 압축강도 시험결과(실험-II)

운반시간(시)	첨가량(kg/m³)	슬럼프*(cm)	압축강도(kg/cm²)			
			1 일	3 일	7 일	28 일
0	—	14(100)	—	—	—	—
1.5	3	13(93)	16(100)	54(100)	87(100)	151(100)
2	3	13(93)	16(100)	59(109)	88(101)	159(105)
4	18	9(64)	15(94)	52(96)	84(97)	141(93)
6	42	4(29)	10(63)	38(70)	67(77)	127(84)
8	75	0(0)	6(38)	22(41)	44(51)	100(66)

\*표 : 물을 첨가하기전의 슬럼프값.

표 11. 레미콘의 운반시간에 따른 시멘트와 물의 첨가량 및 압축강도 시험결과(실험-I)

운반시간(시)	첨가량(kg/m³)		슬럼프(cm)	압축강도(kg/cm²)	
	시멘트	물		7 일	28 일
0	—	—	12.0	155(100)	235(100)
1	—	—	11.0	158(102)	252(107)
2	—	7.0	12.0	159(103)	237(101)
	10	11.0	12.0	152(98)	230(98)
	20	14.0	11.5	168(108)	253(108)
	30	18.0	12.0	182(117)	275(117)
3	—	11.6	12.5	163(105)	247(105)
	20	19.0	12.0	170(110)	252(107)
	30	23.0	12.0	174(112)	267(114)
	40	26.0	12.0	174(112)	281(120)
4	—	25.6	12.0	150(97)	236(100)
	30	44.0	12.0	162(105)	250(106)
	40	54.0	12.0	156(101)	238(101)
	50	63.0	12.0	137(88)	228(95)
5	—	58.3	13.5	100(65)	175(74)
	50	86.0	11.5	102(66)	180(77)
	60	103.0	11.0	103(66)	176(75)
	70	117.0	11.5	94(67)	156(66)

가하고 압축강도 실험을 한 결과를 정리한 것이 표 11이다.

### 3.3 유동화제의 첨가량에 대한 실험결과

슬럼프 2~10 cm의 콘크리트를 슬럼프 12 cm와 18 cm의 유동화 콘크리트로 만들는데 소요되는 유동화제량을 구하여 정리한 것이 그림 2, 3, 4이다. 이때 콘크리트의 배합은 표 6과 같다.

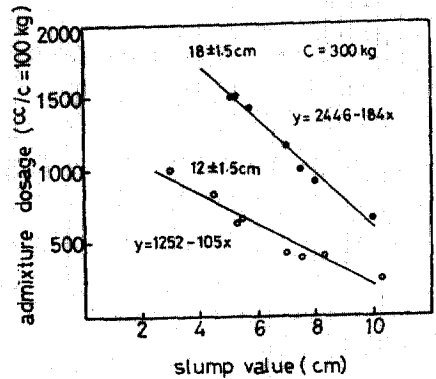


그림 2. 슬럼프값 회복을 위한 유동화제의 첨가량과 슬럼프값의 관계

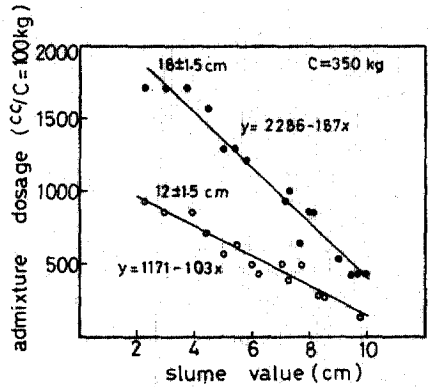


그림 3. 슬럼프값 회복을 위한 유동화제의 첨가량과 슬럼프값의 관계

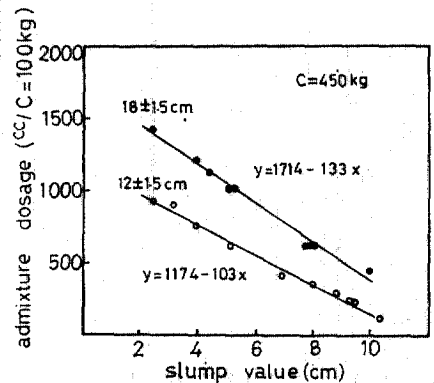


그림 4. 슬럼프값 회복을 위한 유동화제의 첨가량과 슬럼프값의 관계

### 3.4 믹싱 후 경과시간에 따른 슬럼프 변화에 대한 실험결과

혼화제를 사용하지 않은 슬럼프 12, 18 cm 전후의 묽은반죽 콘크리트(soft concrete라 함)와 슬럼프 3~8 cm 정도의 베이스 콘크리트에 유동화제를 사용한 슬럼프 12, 18 cm 정도의 유동화 콘크리트를 믹싱후 경과시간에 따라 슬럼프의 변화를 측정 한 결과를 정리한 것이 그림 5, 그림 6이다. 이 그림 안의 믹싱 종료시를 말하며, 경과시간 0분은 묽은반죽 콘크리트의 믹싱직후와 베이스 콘크리트에 유동화제를 첨가하여 믹싱을 종료한 시점을 나타낸 것이다.

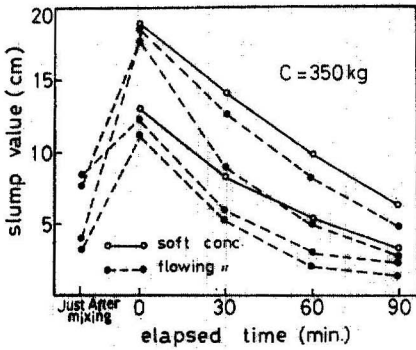


그림 5. 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프값의 변화

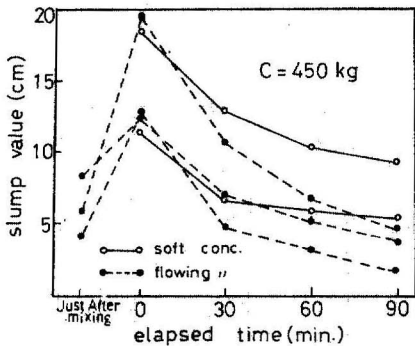


그림 6. 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프값의 변화

### 3.5 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트의 압축강도에 대한 실험결과

슬럼프값이 2~10cm 정도의 베이스 콘크리트

와 슬럼프 12±1.5 cm 및 18±1.5 cm의 유동화 콘크리트의 압축강도를 비교하기 위하여 표 6의 배합으로 실험한 결과가 표 12이다.

표 12. 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트의 압축강도 실험결과

No.	슬럼프 (cm)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	
		7 일	28일
1	5.5	155	207
2	12.5	153	198
3	17.5	145	202
4	7.5	142	191
5	11.5	148	195
6	19.0	141	193
7	10.0	144	202
8	13.0	151	193
9	17.5	149	200
10	2.0	217	288
11	11.0	223	286
12	18.5	210	273
13	3.0	198	276
14	10.5	198	275
15	16.5	193	274
16	6.0	190	276
17	12.5	182	270
18	17.0	189	267
19	9.0	187	259
20	11.5	194	269
21	16.5	190	275
22	2.5	276	349
23	10.5	291	346
24	19.5	280	333
25	4.0	268	341
26	11.5	285	352
27	18.0	283	344
28	8.0	264	341
29	10.5	267	332
30	16.5	264	328
31	10.5	259	329
32	11.5	266	336
33	16.5	267	330

### 3.6 레미콘에 유동화제를 첨가한 경우에 대한 실험 결과

레미콘 트럭을 이용하여 믹싱직후와 90분이 경과한 후 유동화제 첨가전후의 슬럼프를 측정하고 압축강도를 시험한 결과를 나타낸 것이 표 13

표 13. 레미콘에 유동화제를 첨가한 실험결과

구	분	NP-20 첨가량 (cc/C =100kg)	슬럼프 (cm)	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	
				7 일	28일
믹싱직후		0	12.0	189	238
믹싱후 90분 경과	NP-20 첨가전	0	5.5	191	241
	NP-20 첨가후	1,300	13.5	209	246

이다.

#### 4. 실험결과에 대한 고찰

##### 4.1 레미콘의 운반시간에 따른 품질에 대한 고찰

레미콘의 운반시간과 슬럼프값의 관계를 정리한 것이 그림 7이다. 레미콘의 운반시간에 따른 워커빌리티의 저하현상은 시멘트의 초기수화, 물의 증발 및 골재의 수분흡수 등으로 인한 수분의 손실로 생각되며<sup>(3)</sup>, 레미콘 뿐만 아니라 현장 믹싱 콘크리트의 경우에도 slump loss 문제는 콘크리트 품질관리면에서 항상 중요한 요인이 되고 있다<sup>(5-10)</sup>. 우리나라 레미콘의 경우, 규정의 슬럼프값이 지켜지지 않을 때, 또는 비교적 된반죽 콘크리트일 때, 일부 현장에서는 물을 추가첨가하여 슬럼프값을 높여 타설을 용이하게 하는 사례가 있다. 이런 경우를 예상해서 현장에 도착된 레미콘에 물을 첨가한 경우에 대하여 검토 하였다.

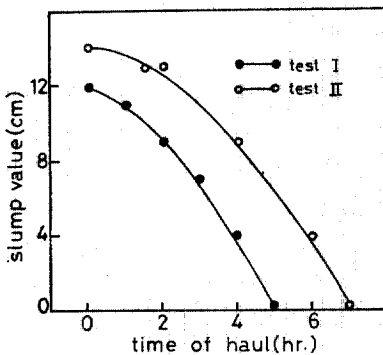


그림 7. 레미콘의 운반시간에 따른 슬럼프값의 변화

군지 않은 콘크리트의 슬럼프값 1cm를 증가시키기 위하여 단위수량 1.2%가 필요하므로<sup>(11)</sup> 이를 기준으로 계산한 값과 실제로 슬럼프 회복을 위해 소요된 수량과의 관계를 정리한 것이 표

표 14. 레미콘 믹싱 직후의 슬럼프값으로 회복하는 데 소요된 수량

실 험 I			
운반시간 (시)	슬럼프* (cm)	첨가수량 (kg/m <sup>3</sup> )	계산수량 (kg/m <sup>3</sup> )
0	12	—	—
1	11	2.3	2.3
2	9	7.0	7.0
3	7	11.6	11.6
4	4	25.6	18.6
5	0	58.3	28.0

실 험 II			
운반시간 (시)	슬럼프* (cm)	첨가수량 (kg/m <sup>3</sup> )	계산수량 (kg/m <sup>3</sup> )
0	14	—	—
1.5	13	3.0	2.4
2	13	3.0	2.4
4	9	18.0	11.9
6	4	42.0	23.8
8	0	75.0	33.3

\*표: 운반시간에 따라 변화한 슬럼프값

14이다.

운반시간 3시간 정도까지는 계산수량대로 수량을 첨가함으로써 믹싱 직후의 최초슬럼프값으로 회복되었으나, 시간이 경과함에 따라 슬럼프 회복을 위해 계산수량보다 실제수량이 많이 필요함을 알 수 있었다. 그 이유로서는 수화반응에 의한 응결진행으로 인한 결과로 생각되므로

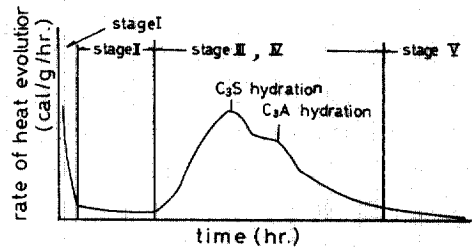


그림 8. 시멘트 광물의 수화곡선

그림 8의 시멘트 광물의 수화곡선<sup>(12)</sup>으로 설명하고자 한다. 이 그림에서 단계 III의 시작부분이 초결단계이며, 단계 III의 피크 부분이 종결단계에 해당한다고 한다. 우리나라 시멘트는 초결시간이 대체로 4시간 전후에서 시작되므로 潜伏期(dormant period)인 단계 II에 해당하는 믹싱 후 3시간 정도까지의 수화반응은 완만하며 단계 III에 해당되는 4시간 정도에서 C<sub>3</sub>S의 수화반응 속도가 활발해져서 큰 발열을 나타내기 때문에

이 시기의 slump loss는 크게 되며, 이를 회복시키기 위해서는 단계 II의 시기와 달리 계산수량보다 실제수량이 많이 요구된다고 생각된다. 한편, 레미콘을 시간별로 압축강도용 공시체를 제작하여 시험한 결과를 믹싱 직후에 제작한 강도에 대한 백분율로 나타낸 것이 그림 9이다.

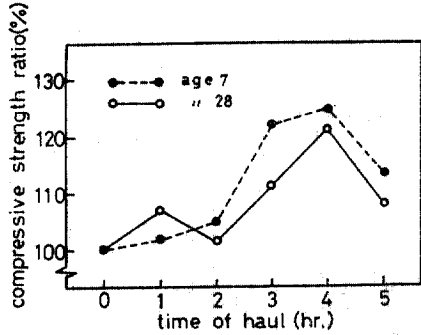


그림 9. 레미콘의 운반시간에 따른 압축강도비

이 그림에서 레미콘의 압축강도비는 최대 20% 정도의 증가현상을 나타내었으나 운반시간 4시간 이후의 강도비는 최대치로부터 약 10%이상 감소함을 알 수 있다. 이러한 실험결과는 Beaufait의 연구<sup>(13)</sup>에서도 유사한 결과를 발표하고 있으나, 운반시간 3시간 이후의 강도가 현저히 감소하는 현상을 나타내고 있어 본 실험결과와는 다소 다르다. 이것은 실험방법 및 실험조건 등이 상이하기 때문으로 생각된다. 레미콘이 운반시간에 따라 강도가 약간 증가하는 이유는 수화반응이 潛伏期에 해당하는 시기에 교반하게 되면 응집된 시멘트 입자의 일부가 분리되므로 물과 접촉할 수 있는 면적이 증대되어 수화작용이 원활해지기 때문이며, 또 다른 이유는 수분의 증발, 골재의 흡수에 의해 물시멘트비가 감소되기 때문으로 생각된다. 그러나 시멘트의 수화과정에서 약 4시간 이후는 C<sub>3</sub>S의 수화반응이 활발히 진행되는 시기이므로 교반을 하게 되면 응결을 방해하게 되어 강도면에서 이롭지 못한 결과를 초래한다고 생각된다. 물을 추가로 첨가한 레미콘의 압축강도 및 휨강도를 믹싱 직후에 제작한 공시체의 강도에 대한 백분율과 운반시간과의 관계로 정리한 것이 그림 10 및 그림 11이다.

그림 10과 그림 11에서 레미콘에 추가첨가한 수량을 가산하여 물시멘트비를 환산해 보면 운

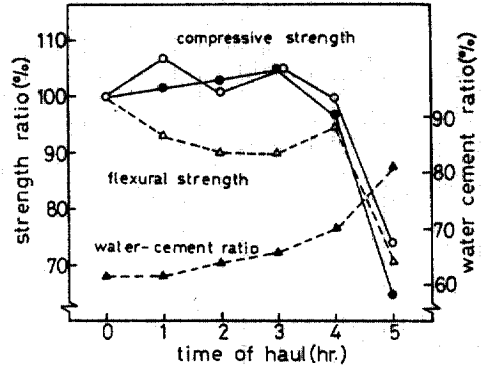


그림 10. 레미콘의 운반시간에 따른 압축 및 휨강도비(실험 I)

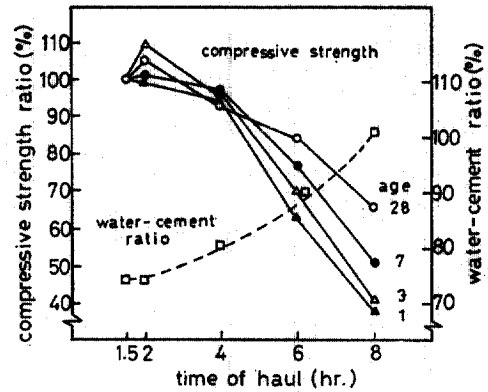


그림 11. 레미콘의 운반시간에 따른 압축강도비(실험 II)

반시간 4시간에서 약 10%정도 증가함을 알 수 있다. 콘크리트의 강도와 물시멘트비와의 관계에서 주지하는 바와 같이 수량의 증가로 물시멘트비가 증가하는데 따라 강도가 감소하는 당연한 결과 때문에 압축강도비는 그림 9의 강도증가현상과 상쇄되어 운반시간 4시간 정도까지는 거의 변동이 없었으나 그 이후 운반시간이 지연되는데 따라 강도의 감소폭이 현저하였다. 그리고 그림 11에서 초기재령의 강도의 감소폭이 크게 나타난 이유를 그림 1의 응결시험결과와 관련시켜 고찰해 보면 콘크리트의 응결시간이 곡선 1, 2, 3과 같이 거의 같은 경향을 나타내지만 그 이후 6, 8시간의 응결시간이 현저하게 지연되기 때문으로 생각된다. 이 결과는 Brook<sup>(14)</sup> 및 Hawkins<sup>(15)</sup>의 연구결과와 일치하지만 Beaufait<sup>(13)</sup>,



池田<sup>(16)</sup>, 新田<sup>(17)</sup>의 연구성과와는 상이하며, 池田 등에 의하면 물을 추가로 첨가하는 경우 강도가 감소하는 경향을 나타낸다고 한다. 이는 물을 첨가할 때 에지테이터 드럼 속에 물을 투입하여 실험을 실시한 池田 등의 실험방법과 믹서를 사용한 본 실험방법의 차이에 의한 것으로 생각되며, 에지테이터 드럼 내의 믹싱효율이 좋지 않음을 간접적으로 평가할 수 있는 자료로 생각된다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 레미콘의 운반시간이 장시간 지연됨에 따라 물을 추가로 첨가하는 방법은 슬럼프 회복에는 유효할지라도 품질을 유지하기 위한 수단으로서는 바람직하지 못하다고 생각된다.

#### 4.2 레미콘의 품질개선을 위한 시멘트와 물의 첨가에 대한 고찰

에지테이터 드럼에서 레미콘을 배출하여 가경식 믹서에 넣고 시멘트를 첨가하여 제작한 공시체의 압축강도비를 정리한 것이 그림 12이다.

이 그림에서 3시간 정도의 범위에서 강도가 증가되는 효과가 있었으나 4시간 정도부터는 시멘트의 첨가량을 증가하는데 따라 동일 슬럼프의 콘크리트로 만들기 위한 수량이 크게 증가되고 결과적으로 물시멘트비가 증가함으로 강도면에서 도움이 되지 못함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Hawkins<sup>(15)</sup>의 transit mixed concrete 방식의 경우, 운반시간 6시간 이내에서 시멘트를 추가첨가함으로써 품질개선에 유효하다는 연구와는 상이할 뿐만 아니라 효과도 없음을 알 수 있다.

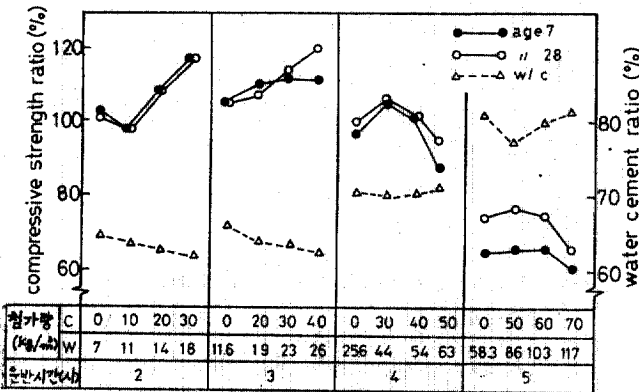


그림 12. 레미콘의 운반시간별 시멘트와 물의 첨가에 따른 압축강도비

그림 12는 가경식 믹서를 사용한 실험결과이며, 믹싱효율이 믹서에 미치지 못하는 우리나라에서 주로 채용하고 있는 central mixed concrete 방식의 에지테이터 트럭을 사용했을 때를 고려하면 강도면에서의 효과는 더욱 기대하기 어려울 것으로 생각된다.

#### 4.3 Slump loss의 회복을 위한 유동화제의 첨가량에 대한 고찰

레미콘의 운반과정에서 저하된 슬럼프값을 믹싱 직후의 슬럼프값으로 회복시키기 위하여 소요되는 유동화제의 양을 쉽게 구할 수 있다면 레미콘의 품질관리를 위하여 매우 유효할 것으로 생각된다. 그래서 슬럼프 회복을 위한 유동화제의 유효첨가량을 쉽게 구할 수 있도록 실험실 실험을 통하여 얻어진 그림 2, 3, 4의 결과를 함께 정리한 것이 그림 13이다. 이 그림에서 단위시멘트량 300, 350 및 450 kg에 대하여 슬럼프값을 12cm로 개선하는데는 단위시멘트량에 관계없이 유사한 경향을 나타냈으나, 슬럼프 18cm를 목표로 한 경우 시멘트량의 차이에 따라 유동화제의 사용비율이 상이함을 알 수 있었다.

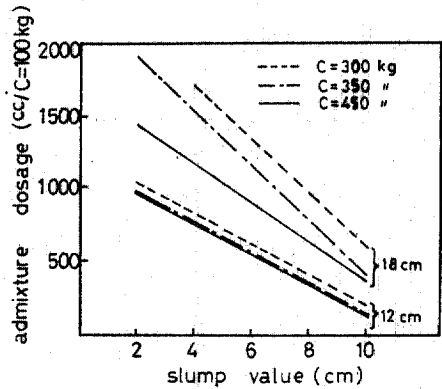


그림 13. 슬럼프값 회복을 위한 유동화제의 첨가량과 슬럼프값의 관계

이 그림에서 베이스 콘크리트의 슬럼프값을 1cm 회복시키는데 유동화제량은 슬럼프 12cm와 18cm의 경우, 각각 시멘트 100kg 당 약 100cc와 130~190cc 정도가 소요되었다. 그런데 시멘트량 300kg의 경우, 슬럼프 4cm 이하의 베이스 콘크리트에 유동화제의 양을 크게 증가시켜도 슬럼프 18cm 정도의 높은반죽으로 만드는데

는 어려움이 있었으며, 재료분리가 현저하여 슬럼프 회복에 한계성을 나타냈다. 이상의 결과는 유동화제의 효과면에서 볼 때 시멘트량이 클수록 유동화제의 슬럼프 회복을 위한 효과가 큼을 나타내는 결과로서 유동화제의 원래의 사용목적에 일치하는 결과로 생각된다.

#### 4.4 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트의 압축강도에 대한 고찰

베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트의 시멘트 물비와 압축강도와의 관계를 나타낸 것이 그림 14로서 양자의 사이에는 직선관계가 성립되며, 동일한 시멘트물비에서 베이스 콘크리트의 압축강도와 유동화 콘크리트의 압축강도는 비슷한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

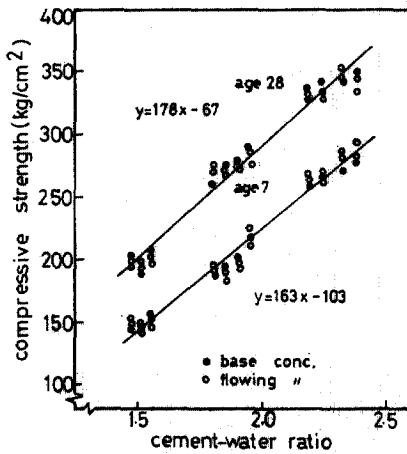


그림 14. 콘크리트의 시멘트물비와 압축강도의 관계

이번에는 베이스 콘크리트의 압축강도와 유동화 콘크리트의 압축강도와의 관계를 나타낸 것이 그림 15로 재령 7일과 28일의 직선의 기울기가 약간 다르나 유동화제 첨가전후의 양자의 압축강도 사이에는 큰 변동이 없다는 지금까지의 연구보고<sup>(18,19)</sup>와도 일치하는 성과라 생각된다. 그러나 服部 등<sup>(20,21)</sup>에 의하면 유동화제를 첨가한 콘크리트의 강도가 얼마간 감소되었다는 보고도 있다. 그래서 통계학의 힘을 빌어 본 실험결과를 검토하여 보았다. 시멘트량 300, 350 및 450 kg에 대한 유동화제 첨가량과 물시멘트비에 따른 압축강도에 대한 분산분석을 실시한 결과의 일부를 소개한 것이 표 15이다.

분산분석결과 유동화제 첨가량에 따른 콘크리

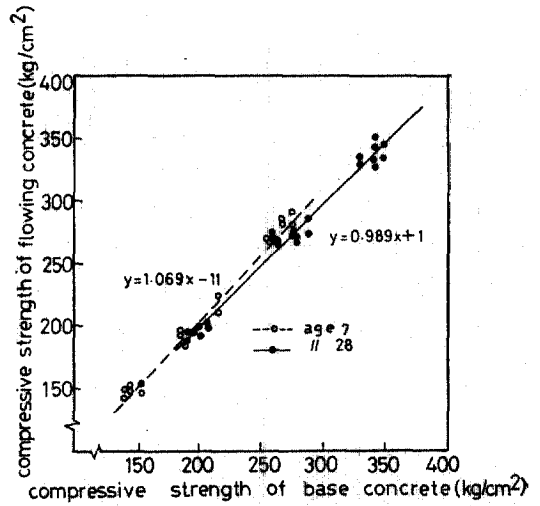


그림 15. 베이스 콘크리트의 압축강도와 유동화 콘크리트의 압축강도와의 관계

표 15. 시멘트량 350 kg에 대한 분산분석의 예

재령	요 인	자승합 (S)	자유도 (φ)	자승 평균 (V)	검 정 통계량 (F <sub>0</sub> )	기 작치 (F(0.05))
7 일	유동화제량	29	2	14.5	0.6	5.14
	물시멘트비	1,591	3	530.3	23.6*	4.76
	잔 차	135	6	22.5	—	—
	계	1,755	11	—	—	—
28일	유동화제량	18.5	2	9.3	0.2	5.14
	물시멘트비	358.7	3	119.6	2.5	4.76
	잔 차	288.8	6	48.1	—	—
	계	666	11	—	—	—

트 압축강도의 유의차는 없었다. 그리고 부분적으로 물시멘트비에 따른 압축강도의 유의차가 없는 것으로 나타난 것은 배합시 물시멘트비의 폭이 비교적 적었으므로 물시멘트비에 따른 요인보다 오차변동이 크게 나타난 결과로 생각된다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 슬럼프 손실을 회복시키는데 유효한 유동화제의 첨가는 강도면에서 문제가 없음을 확인하였다.

#### 4.5 유동화제의 첨가에 의한 레미콘의 Retempering에 대한 고찰

슬럼프 손실을 해결하기 위해 유동화제를 첨가하는 방법이 실험실 실험에서는 유효함을 알 수 있었다. 그러나 실험실과 제 조건이 다른 레

미콘의 경우, 실험실 결과가 어느정도 접근 가능한지를 확인하기 위하여 레미콘 트럭을 이용하여 실험을 실시하였다. 즉, 배치 플랜트에서 출하한 슬럼프 12cm의 레미콘을 에지데이터 드럼에서 90분간 교반한 후 슬럼프를 측정된 결과 사진 1과 같이 5.5cm로 크게 감소되었다. 그래서 앞의 그림 3의 실험결과에서 슬럼프 5.5cm 정도의 콘크리트를 슬럼프 18±1.5cm의 묽은반죽의 콘크리트로 만드는데 사용된 유동화제의 양을 환산하면, 시멘트 100kg 당 약 1,300cc가 되며 이 양을 첨가한 결과 유동화 콘크리트의 슬럼프가 사진 2와 같이 13.5cm가 되었으며 실험실의 실험결과와는 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 이와 같은 차이는 첫째, 기온이 30°C 정도이며, 콘크리트의 온도가 32~34°C로 높았던 점, 둘째, 믹싱조건, 즉 실험실의 믹서와 에지데이터의 믹싱성능의 차이, 셋째, 시멘트 골재 등 사용재료가 상이하며 배합이 다소 다른 점, 넷째, 첨가시기가 상이한 점 등에 기인되었다고 생각된다. 필자는 앞에서 지적한 제 조건에 상당한 차이가 있음에도 불구하고 실험실의 실험결과와 실제 현장실험결과가 근접하는 성과를 얻었다고 생각하지만 그림 2, 3, 4의 실험결과를 현장에 적용하기 위해서는 기온, 사용재료, 에지데이터의 믹싱성능 등에 따른 약간의 수정이 불가피하다고 생각된다. 한편 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트의 압축강도를 재령 7일과 28일에 측정해 본 결과 유동화 콘크리트의 압축강도가 약간 크게 나타났으나 양자의 강도차는 실험실의 강도실험결과와 유사한 결과로 생각된다. 그런데 유동화

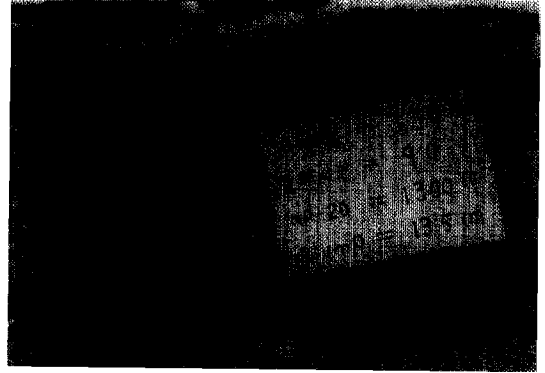


사진 2. 레미콘에 유동화제를 첨가한 후 슬럼프측정

콘크리트의 slump loss는 보통 묽은반죽 콘크리트와 비교해서 일반적으로 크다고 하며<sup>(22~26)</sup>, 그림 5와 그림 6에서도 같은 경향을 보이고 있다. slump loss는 유동화제의 종류 및 첨가량, 첨가시기, 콘크리트의 배합조건 및 콘크리트의 온도 등에 따라 상이하다고 한다<sup>(27)</sup>. 그래서 유동화 콘크리트의 slump loss를 방지하기 위한 대책에 관한 연구성고가 많이 보고되고 있으나<sup>(28,29)</sup>, 아직은 실용화에는 문제점이 있으며 일반적으로 유동화제 첨가후 60분 정도에서 유동화 효과가 상실되어 베이스 콘크리트의 슬럼프로 되돌아가며 이 경향은 온도가 높을수록 크다<sup>(24)</sup>. 본 실험에서는 유동화제를 첨가한 슬럼프 13.5cm의 레미콘이 40분 경과된 후 슬럼프가 7.5cm로 크게 저하되었다. 이상의 고찰결과를 종합해 볼 때 슬럼프 회복을 위해 유동화제를 첨가할 경우 유동성을 확보할 수 있는 유효시간은 30분 전후로 생각되므로 유동화 콘크리트의 사용상의 제약은 불가피하다고 생각된다.

## 5. 結 論

본 실험의 범위에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 레미콘의 운반시간에 따른 품질을 알아보기 위하여 시간별로 슬럼프와 강도시험을 실시하였으며, 슬럼프 회복을 위해 물을 추가 첨가한 레미콘의 슬럼프와 강도를 조사해본 결과 슬럼프 회복에는 유효하였으나 레미콘의 품질면에

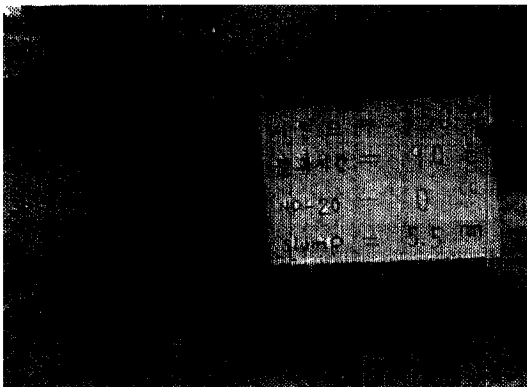


사진 1. 레미콘 운반 후의 슬럼프측정

서는 유해함을 알 수 있다.

(2) 레미콘의 장시간 운반에 따른 품질을 유지하기 위해 시멘트와 물을 추가 첨가하는 방법을 검토한 결과, 운반시간 3시간 정도의 범위에서는 다소 효과가 있었으나, 운반시간이 장시간 지연되는 경우 많은 시멘트의 첨가량에도 불구하고 강도는 감소하므로 레미콘 품질유지에 도움이 되지 못했다.

(3) 레미콘의 슬럼프회복과 아울러 슬럼프 18 cm 정도의 묽은반죽 콘크리트를 얻기 위해 필요한 유동화제의 유효 첨가량을 쉽게 구할 수 있는 자료를 얻었다. 그러나 실제 레미콘에 적용할 경우 현장의 제 조건을 고려한 약간의 수정이 불가피하다고 생각된다.

(4) 유동화제 첨가전의 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트의 압축강도 사이에는 분산분석 결과 재령 7일, 28일에서 다같이 대체로 유의차가 없음을 알 수 있었으며, 유동화제의 사용은 레미콘의 품질개선에 유효하다고 생각된다.

(5) 레미콘에 유동화제를 첨가하므로써 슬럼프회복에 유효하며, 강도면에서도 변동이 없음을 알 수 있었으나, 유동화후의 slump loss가 보통 묽은반죽 콘크리트보다 큰 문제점이 아직도 완전히 해결되지 않고 있어 유동화 콘크리트의 사용상의 제약은 불가피하며, 실용화를 위해 지속적인 연구검토가 요망된다.

#### 참 고 문 헌

1. 레디 믹스 콘크리트, 한국공업규격 KSF 4009, 1980.12.
2. Ready Mixed Concrete, ASTM C-94, 1975.
3. R.K. Dhir, *Advances in Ready Mixed Concrete Technology*(England) p.343~353, 1976.
4. 文翰英, 流動化 콘크리트에 관한 基礎研究, 大韓土木學會論文集, 2卷 2號, 1982.6.
5. Robert W. Previte, Concrete Slump Loss, *ACI Jour.*, 1977.8.
6. Lewis H. Tuthill, Slump Loss, *Concrete International*, 1979.1.
7. L.M. Meyer and W.F. Perenchio, Theory of Concrete Slump Loss as Related to the Use of Chemical Admixtures, *Concrete International*, 1979.1.

8. 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, No. 110, 1980.3.
9. Dan Ravina, Retempering of Prolonged-mixed Concrete with Admixtures in Hot Weather, *ACI Jour.*, 1975.6.
10. 岸谷孝一, 署中コンクリートのスランプ低下防止方法に關する研究, *セメント・コンクリート*, No. 340, 1975.6.
11. *Concrete Manual*, Bureau of Reclamation of U. S., p.133, 1975.
12. J.F. Young, Hydration of Portland Cement, *1980 Cement Chemists' Seminar*, PCA.
13. Fred W. Beaufait and Peter G. Hoadley, Mix Time and Retempering Studies on Ready-mixed Concrete, *ACI Jour.*, Dec. 1973.
14. K.M. Brook, Problems of Concreting in Cold and Hot Weather, *TRA/412, Cement. Conc. Assoc.*, London, 1969.
15. B.J. Hawkins, Concrete Retempering Studies, *ACI Jour.*, Vol. 59, No. 1, 1962.1.
16. 池田忠雄, 溝口芳郎, 季節によるレデミクストコンクリートの性状變化, *セメント・コンクリート*, No. 186, 1962.8.
17. 新田努, 夏期長時間輸送における生コンクリートの經時變化について, 第2回 生コン技術大會研究發表論文集, 全國生コンクリート工業組合連合會, 1983.6.
18. 嵩・池田外, 高性能減水劑の遲延添加による高流動コンクリートについて, *セメント技術年報* 30, 昭51.
19. 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狀, *日本建築學會*, 1980.9.
20. 服部健一外, 流動コンクリート, *セメント・コンクリート*, No. 357, 1976.11.
21. 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.
22. 龜田・柿崎, 20%程度減水でできる混和劑を用いたまだ固まらないコンクリートの特性, *日本建築學會學術講演梗概集*, 昭和 51.
23. 武田一久, 流動化コンクリートの施工上の留意點, *建築の技術施工*, 1980.2.
24. 服部・飯塚, 流動化コンクリートとその特性, *建築士と實務*, 1981.12.
25. 柿崎・和美外, 現場で減水劑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, 1976.
26. 友澤外, 流動化剤の性能に関する實驗的研究, 日本建築學會學術講演會要集(關東), 昭和 54. 9.
27. 文翰英, 流動化 콘크리트의 特性에 관한 考察, 大韓土木學會誌, 30卷 1號, 1982. 2.
28. 飯塚・風間外, 流動化剤をくり返し添加したコンクリートの性質, セメント技術年報 33, 昭和 54.
29. 尼崎外, 減水剤によるコンクリートのリテンパリングに関する研究, セメント技術年報 29, 昭和 50. (接受: 1983. 9. 8)