

레디믹스트 콘크리트의 슬럼프損失量の 推定 및 슬럼프損失에 영향을 미치는 要因分析

Estimation and Analysis of Slump Loss in Ready Mixed Concrete

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

Abstract

Multiple regression equation was derived for estimation of slump loss in ready mixed concrete and usefulness of the equation was verified by field test.

Factors affecting slump loss were examined and analyzed for transport distance and transport time of ready mixed concrete. The analysis showed that wait and discharge time of ready mixed concrete in job site caused difficulty in the slump control.

To determine the influence of the other factors such as mix proportion, temperature of concrete, and dosage of admixture, experimental tests were performed.

Generally, there was no significant difference in slump loss according to cement content and initial slump level. For one retarder, more slump loss was found, but difference according to dosage of admixture was not recognized.

要 旨

레미콘의 슬럼프 損失量を 推定할 수 있는 重回歸式을 유도하였으며, 이 식의 實用性을 현장실험을 통하여 확인하므로써 레미콘 生産管理에 응용할 수 있도록 하였다. 레미콘의 슬럼프 손실에 영향을 미치는 要因 중에서 운반거리와 운반시간에 대하여 조사 분석하고, 레미콘 트럭의 대기시간과 배출시간이 슬럼프 관리면에서 문제시되고 있음을 지적하였다. 그리고 콘크리트의 배합, 온도 및 혼화제의 종류와 사용량이 슬럼프 손실에 미치는 영향을 검토한 결과, 일반적으로 단위시멘트량 및 믹싱직후의 슬럼프값의 크기에 따른 슬럼프 손실은 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 또한 혼화제의 종류에 따라 슬럼프 손실을 크게 하는 경우도 있었으나, 혼화제의 사용량에 따른 차이는 거의 없었다.

1. 序 論

레디믹스트 콘크리트는 공장 생산품이기 때문에 일반적으로 품질에 대한 신뢰도가 큰 장점을

가지고 있는 반면 현장 믹싱 콘크리트와 달리 운반시간, 기온, 콘크리트의 온도 및 운반차의 성능 등에 따라 슬럼프가 감소되므로 콘크리트의 품질이 변동하는 문제점이 있다⁽¹⁾. 이러한 슬럼프의 감소현상은 특히 지정한 슬럼프값이 작을 경우, 슬럼프값의 허용범위를 작게 지정하였을

*正會員·漢陽大學校 工科大學 教授, 土木工學科

**正會員·漢陽大學校 大學院 博士課程

경우, 콘크리트의 품질관리나 시공시 어려운 문제를 야기시키는 원인이 된다. 그래서 레미콘의 슬럼프 손실에 영향을 미치는 요인들을 분석하여 슬럼프 손실량을 예측할 수 있다면 슬럼프 손실로 인해 야기될 레미콘 품질상의 문제점을 크게 줄일 수 있다고 생각된다.

본 논문에서는 레미콘과 관련된 지금까지의 연구실적⁽²⁻¹⁹⁾에서 발췌한 데이터를重回歸分析하여 슬럼프 損失量의 推定式을 구하였으며, 현장실험을 통한 결과와 비교 고찰하였다. 한편, 레미콘의 슬럼프 손실에 영향을 미치는 요인 가운데 운반시간과 운반거리에 대해서는 3개 레미콘 회사의 총 3,000 대분에 대한 현장조사를 실시하여 얻어진 자료를 분석하였다. 이외에도 콘크리트의 배합, 온도 및 혼화제의 종류와 사용량이 슬럼프 손실에 미치는 영향에 대한 실험을 실시하였으며, 레미콘 트럭의 에지데이터 드럼내의 부위별 슬럼프의 변화상태를 현장실험을 통하여 고찰하였다.

2. 레미콘의 콘크리트의 슬럼프 損失量의 推定方法에 대한 考察

레미콘의 운반시간에 따른 슬럼프 손실량을 추정하기 위한 한 방안으로 트럭 에지데이터를 사용하여 슬럼프의 변화를 측정한 결과를 발표

하고 있는 국내의 18개의 문헌⁽²⁻¹⁹⁾에서 59개 데이터를 분석하여 중회귀식을 유도하고자 하였으며 그 데이터의 일부를 소개한 것이 표 1이다.

이 표의 데이터로서 레미콘의 운반시간과 슬럼프 손실량과의 상관관계를 구해보면 상관계수가 0.56으로 상관관계가 좋지 않음을 알 수 있다. 이는 문헌의 제실험조건이 상이하었던 점에 기인되었다고 생각이 되어 다음과 같은 중회귀 모델로 가정하였다.

$$Y = \beta_1 X_1 X_2 + \beta_2 X_1 X_3 + \beta_3 X_1 X_4 + \beta_4 X_1 + \beta_5 \quad (1)$$

여기서, Y: 슬럼프 손실량(cm)

$\beta_1 \dots \beta_5$: 회귀계수

X_1 : 레미콘 혼합후 운반시간(분)

X_2 : 콘크리트 온도(°C)

X_3 : 혼합직후의 슬럼프(cm)

X_4 : 혼화제 사용유무(사용한 경우: 1, 사용하지 않은 경우: 0)

이때, 중상관계수 R, 결정계수 R², 단상관계수 Simple R 및 회귀계수 β 를 구하여 정리한 것이 표 2이다. 이 표에서 운반시간×콘크리트의 온도를 나타내는 단상관계수는 $X_1 \cdot X_2$ 에서 0.624로 가장 높으며, 가정한 회귀모델은 중상관계수가 0.677로 비교적 좋은 상관관계를 보였다. 그리고 총변동을 설명하는데 있어서 회귀선에 의해 설명되는 변동이 기여하는 비율을 나타내는 결정계수 R²는 0.458이다. 한편, 회귀

표 1. 슬럼프 손실량의 추정을 위한 자료

No.	혼화제	콘크리트 온도(°C)	혼합직후 슬럼프(cm)	경과시간에 따른 슬럼프 손실량(cm)						인용문헌
				30분후	60분후	90분후	120분후	150분후	180분후	
1	—	(기온)22	12	—	1	—	3	—	5	2
2	—	(")25	14	—	—	1	1	—	5	
3	—	33	21	-0.5	0.5	3	10.5	13.2	17	3
4	—	23.5	21.5	-0.5	0	0	0.5	2.5	4	
5	—	12	22	-1	-1	2	1	2.5	3	
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
55	감수제	30	17.7	1.5	1.8	4.9	—	—	—	18
56	"	23	19.2	1.2	2.4	3.4	—	—	—	
57	"	10	20	0.4	0.8	1.7	—	—	—	
58	A E 제	24	21.5	0.1	1.1	—	3.1	—	5.5	19
59	"	31.5	21.4	0.2	3.5	—	3.5	—	14.5	

선은 구하여 의미가 있는 경우에 한하여 쓰이는 것이므로 그 판단을 위하여 分散分析表를 작성, F-검정을 한 결과가 표 3이다. 이 표에서 有意水準 1%에서의 회귀변동은 有意하므로 가정된 회귀모델은 슬럼프 손실량을 추정하는데 효과있게 사용할 수 있음을 알 수 있다.

표 2. 상관계수 및 회귀계수

변수	R	R ²	simple R	β
$X_1 \cdot X_2$	0.624	0.389	0.624	0.961×10^{-2}
$X_1 \cdot X_4$	0.662	0.438	0.439	0.175×10^{-1}
X_1	0.672	0.452	0.564	0.292×10^{-1}
$X_1 \cdot X_3$	0.677	0.458	0.416	-0.610×10^{-3}
상수				-0.952

표 3. 분산분석표

요인	sum of square	df	mean square	F ₀	F(0.01)
회귀	1,174.3	4	293.6	41.22	3.32
잔차	1,388.9	195	7.1		
계	2,563.2	199			

이번에는 여기서 구한 중회귀식에 의해 제조건별로 슬럼프 손실량을 구해보면 표 4와 같다. 이 표를 참고로 하여 레미콘 제조시 미리 슬럼프 손실량을 계산하여 단위수량 및 단위시멘트량을 증가시킴으로써 슬럼프 손실에 따른 품질상의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

표 4. 슬럼프 손실량의 추정치(cm)

운반시간 콘크리트 온도(°C)	종류			혼화제 사용 콘크리트		
	보통 콘크리트			혼화제 사용 콘크리트		
(분)	30	60	90	30	60	90
10	0	1	2	0.5	2	3.5
20	0.5	1.5	3	1	2.5	4.5
30	0.5	2	3.5	1	3	5.5
35	0.5	2.5	4	1	3.5	6

단, 혼화제를 사용한 레미콘의 경우에는 혼화제의 종류에 따라 슬럼프 손실의 차이가 있을 것으로 예상되므로 혼화제를 사용한 레미콘의 경

우에는 사전에 확인시험을 실시할 필요가 있다고 생각된다.

3. 레미믹스트 콘크리트의 運搬距離 및 時間에 대한 分析

레미콘이 배치 플랜트에서 출하운반과정을 거쳐 현장에서 타설이 완료될 때까지 소요되는 시간의 분포를 알아보기 위하여 서울에 소재하고 있는 A회사, K회사 및 S회사의 레미콘 공장에서 출하된 1,000대분씩 총 3,000대분에 대하여 운반거리와 운반시간을 조사 분석하였다.

그림 1은 레미콘의 운반거리별 빈도수를 나타낸 것으로서 대부분이 30 km 이내의 거리이며, 30 km 이상은 2% 정도에 지나지 않음을 알 수 있다. 그리고 평균운반거리는 11.8 km 정도이었다.

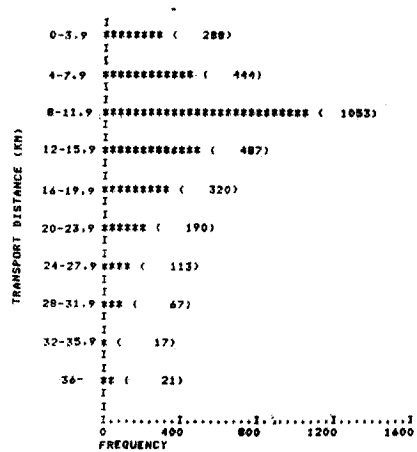


그림 1. 레미콘의 운반거리별 빈도수

레미콘의 총운반시간은 순수수송시간, 대기시간 및 배출에 소요되는 시간의 3단계로 구분할 수 있다.

레미콘의 순수수송시간을 10분 간격으로 조사한 수송시간별 빈도수를 나타낸 것이 그림 2로서 10~40분의 범위가 대부분으로 70% 이상이며, 60분 이상 소요되는 경우는 약 5% 정도, 90분 이상은 총 3,000대 중에서 10대로서 0.3%에 지나지 않았다. 레미콘의 수송시간과 운반거리와의 관계를 나타내면 식(2)와 같으며, 레미콘 운반차의 시속은 30 km 정도임을 알 수 있다.

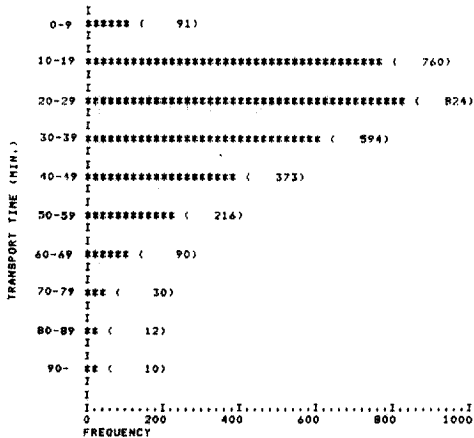


그림 2. 레미콘의 수송시간별 빈도수

$$\text{순수수송시간(분)} = 1.73 \times \text{운반거리(km)} + 7.96(R: 0.78) \quad (2)$$

이번에는 현장에 운반된 레미콘의 타설시까지의 대기시간을 조사한 것이 그림 3이다.

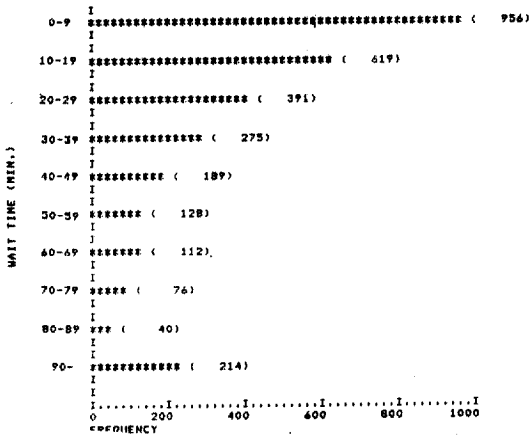


그림 3. 레미콘의 대기시간별 빈도수

레미콘의 평균대기시간은 29분 정도였으나, 대기시간이 60분 이상인 경우가 약 15%, 90분 이상인 경우가 7%에 이르며 현장의 사정에 따라 대기시간의 격차가 큰 것으로 나타났다. 따라서 대기시간은 레미콘 품질관리상의 문제점을 야기시키는 요인이 되고 있음을 알 수 있다. 그리고 레미콘의 배출시간을 조사한 결과, 60분 이상의 배출시간이 소요된 경우가 7% 정도나 되며, 평균 25분 정도 소요됨을 알 수 있었다.

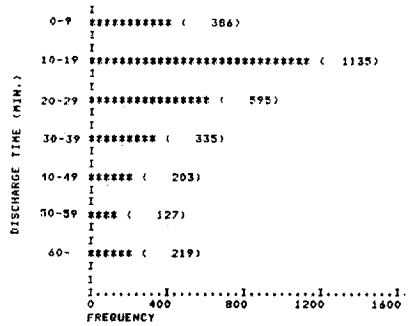


그림 4. 레미콘의 배출시간별 빈도수

다음으로 레미콘의 수송시간, 대기시간을 합한 시간을 15분 간격으로 구분한 빈도수를 구한 것이 그림 5이다.

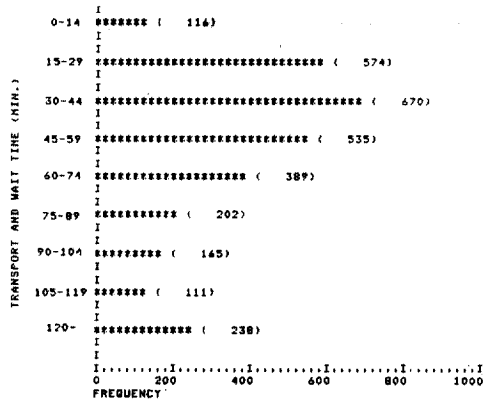


그림 5. 레미콘의 수송시간과 대기시간별 빈도수

레미콘의 수송시간과 대기시간을 합한 평균시간이 약 57분 정도이었으며, 90분과 120분 이상 소요된 경우는 각각 전체의 17%와 8% 정도였다. 레미콘의 규격에 의하면 콘크리트를 혼합하기 시작하여 90분 이내에 공사지점에서 배출할 수 있게 운반하도록 정하고 있으나 앞에서와 같이 허용운반시간을 초과하는 레미콘이 17% 정도이며, 여기에 배출에 소요되는 시간까지를 가산하면 허용운반시간을 초과하는 레미콘이 35% 정도나 된다. 운반시간이 길어지는데 따라 야기되는 문제점을 해결하기 위해 운반시간과 운반거리를 함께 고려하여 레미콘공장을 선정하는 일이 중요하며, 또한 현장에서 레미콘의 배

출원료시까지의 대기시간과 배출시간이 상당히 문제시되므로 공장과 현장간의 긴밀한 협의하에 대기시간과 배출시간을 지연하는 일이 없도록 조치를 취해야 하겠다.

4. 레디믹스트 콘크리트의 슬럼프 損失에 영향을 미치는 要因分析을 위한 實驗要實驗

4.1 실험개요

(1) 사용재료 및 배합

(a) 사용재료: 시멘트는 보통포틀랜드시멘트, 골재는 부순자갈 및 장자갈을 사용하였다. 혼화제는 표 5에서와 같은 감수제 및 지연제 각각 2종류씩 합계 4종류를 사용하였다.

(b) 콘크리트의 배합: 콘크리트의 배합 및 온도에 따른 슬럼프 손실량의 정도를 알아보기 위한 실험은 단위시멘트량 300, 350 및 400 kg/m³ 그리고 슬럼프 13, 17 및 21 cm를 목표로 9종류의 배합을 정하여 二元配置實驗을 하였으며, 콘크리트의 온도는 18±3°C 및 30±2°C의 조건에서 실험하였다. 다음으로 슬럼프 손실에 미치는 혼화제의 영향을 알아보기 위한 실험으로 단위시멘트량 350 kg/m³, 슬럼프 17 cm를 목표로 하여 배합을 정하였으며, 이때 단위수량은 감수제의 감수성능에 따라 약간 변화시켰다. 또한 혼화제의 사용량은 제조회사가 추천하는 표준량과 표준량의 2배, 3배를 첨가한 실험도 실시하였다.

(2) 실험방법

본 실험에 사용한 믹서는 가정식에 변속장치를 설치하여 믹서의 회전속도를 임의대로 변속 조절할 수 있도록 하였다. 믹싱은 재료를 전부 투입한 후 27 rpm으로 3분간 믹싱한 다음 완전히 혼합된 콘크리트를 레미콘 트럭의 에지데이

터 드럼의 회전속도에 상당하는 2 rpm의 저속으로 회전시켰으며 30분 간격으로 3시간까지 슬럼프의 변화를 측정하였다. 콘크리트의 혼합량은 50 l로 하고 슬럼프 측정직전에는 수회 고속회전시킨 시료로서 슬럼프 실험을 하였으며 저속고반중에는 믹서 입구를 비닐로 덮어 수분의 증발을 방지하였다.

4.2 콘크리트의 배합 및 온도가 슬럼프 손실에 미치는 영향

레미콘의 운반시간에 따른 슬럼프 손실의 정도는 사용재료, 기온, 콘크리트 온도 및 배합등과 같은 인자들에 의해 좌우된다. 특히 사용재료중 시멘트의 화학성분의 영향으로서 3CaO·Al₂O₃와 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃의 초기수화반응성이 현저하기 때문에 이들 조성광물이 슬럼프에 영향을 미친다고 하며, 長瀧 등에 의하면⁽²⁰⁾ 3CaO·Al₂O₃의 함유량이 많은 보통포틀랜드시멘트의 슬럼프 손실이 중용열포틀랜드시멘트나 耐鹼산염시멘트보다 다소 크다고 한다.

여기서도 콘크리트의 배합 및 온도가 슬럼프 손실에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실험한 결과를 정리한 것이 그림 6 및 그림 7이다.

이 두 그림은 콘크리트 온도 18°C와 30°C의 콘크리트에 대한 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프의 변화를 나타낸 그림으로서 단위시멘트량의 차이와 최초의 슬럼프값에 따른 슬럼프 손실량의 차이는 알 수 없으나 시간이 경과하는데 따라 슬럼프값이 거의 일정한 비율로 저하하는 경향임을 알 수 있다. 그래서 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 손실량을 통계학적으로 분산분석한 것이 표 6으로서 콘크리트 온도 18°C정도인 경우 시멘트량과 믹싱직후의 슬럼프값에 따른 슬럼프 손실량의 有意한 차이가 없었다. 다시 말해서 콘크리트의 온도가 낮을 경우, 단위시멘트

표 5. 혼화제의 성분

구 분	품 명	주 성 분	표준사용량 (C×%)	제 조 회 사
감 수 제	Po. 84	리 그 닌	0.2	Nisso Master Builders
	Paric KS	옥시칼본산염과 계면활성제	0.1	Fujisawa
지 연 제	Po. Retarl	규 불 화 물	0.15	Nisso Master Builders
	Paric KR	옥시칼본산염과 계면활성제	0.15	Fujisawa

량과 믹싱직후의 슬럼프값의 차이는 슬럼프 손실의 정도에 영향을 미치지 않는다고 분석되

었다.

한편, 콘크리트 온도가 30°C 정도일 때도 단

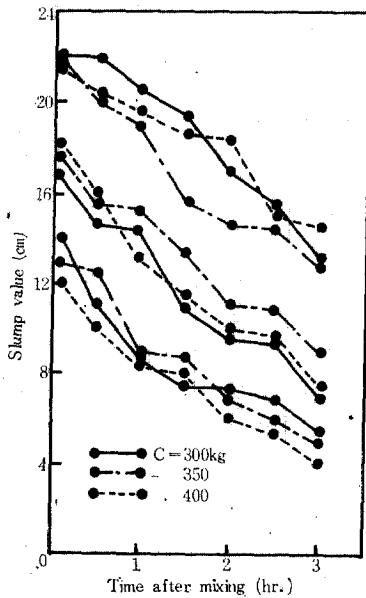


그림 6. 경과시간에 따른 슬럼프값의 변화 (콘크리트 온도: 18°C)

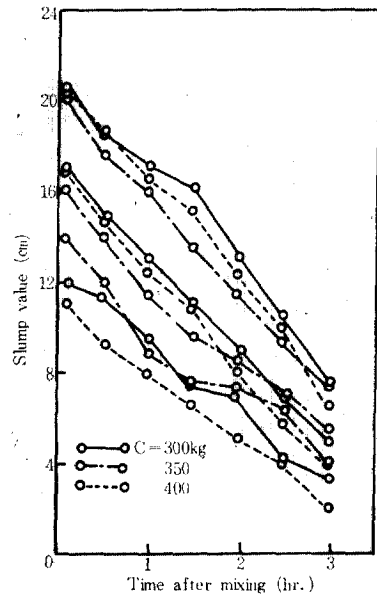


그림 7. 경과시간에 따른 슬럼프값의 변화 (콘크리트 온도: 30°C)

표 6. 분산분석표

콘크리트온도 (°C)	경과시간 (시)	요 인	sum of square	df	mean square	F ₀	F(0.05)
18	1	단위시멘트량	0.500	2	0.250	0.113	6.94
		최초슬럼프	7.167	2	3.583	1.623	"
		오 차	8.833	4	2.208		
	2	단위시멘트량	1.500	2	0.750	0.300	"
		최초슬럼프	9.500	2	4.750	1.900	"
		오 차	10.000	4	2.500		
	3	단위시멘트량	0.500	2	0.250	0.231	"
		최초슬럼프	6.167	2	3.083	2.847	"
		오 차	4.333	4	1.083		
30	1	단위시멘트량	2.167	2	1.083	2.597	"
		최초슬럼프	1.167	2	0.583	1.398	"
		오 차	1.167	4	0.417		
	2	단위시멘트량	0.889	2	0.444	0.841	"
		최초슬럼프	9.556	2	4.778	9.049*	"
		오 차	2.111	4	0.528		
	3	단위시멘트량	1.167	2	0.583	0.636	"
		최초슬럼프	23.167	2	11.583	12.631*	"
		오 차	3.667	4	0.917		

주) *표: 有意水準 5%에서 有意

위시멘트량에 따른 슬럼프 손실량의 차는 인정되지 않았으나 믹싱직후의 슬럼프값의 경우, 경과시간 90분 이내에서는 유의한 차가 없었으며 120분 이후에 유의한 차가 있었다. 이번에는 콘크리트 온도에 따른 슬럼프 변화의 정도를 그림 8~그림 10으로 검토해 보면 알 수 있듯이 슬럼프값이 작은 경우보다는 큰 슬럼프값일 때 콘크리트 온도의 증가에 따른 슬럼프 손실이 보다 큰 경향을 나타내며 이러한 경향은 경과시간이 길어질수록 더욱 현저하게 나타났다.

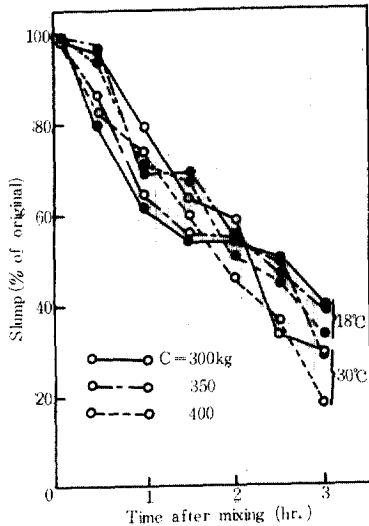


그림 8. 믹싱직후의 슬럼프값에 대한 비(슬럼프 13cm)

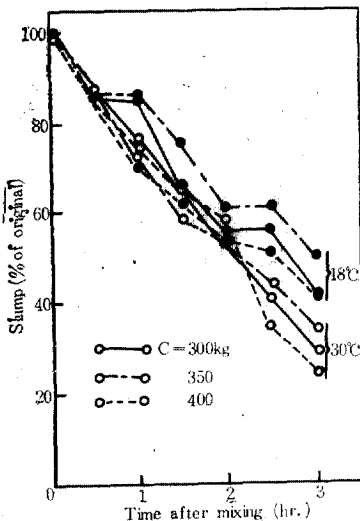


그림 9. 믹싱직후의 슬럼프값에 대한 비(슬럼프 17cm)

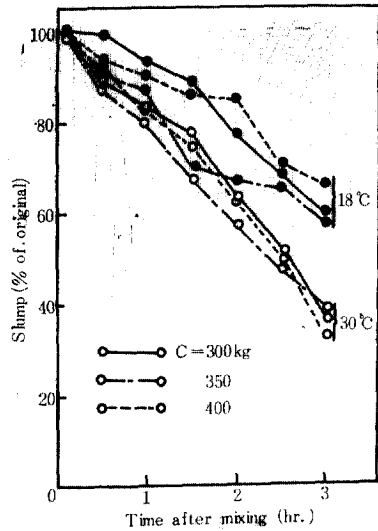


그림 10. 믹싱직후의 슬럼프값에 대한 비(슬럼프 21cm)

본 실험의 결과값으로 슬럼프 손실량에 대한 회귀식을 구하면 다음과 같다.

$$Y = 0.0725X_1X_2 + 0.0638X_1X_3 + 0.349X_1 + 0.426 \quad (3)$$

여기서, Y : 슬럼프 손실량(cm)

X_1 : 경과시간(시)

X_2 : 콘크리트 온도(°C)

X_3 : 믹싱직후의 슬럼프(cm)

이때 중상관계수 R 은 0.926 으로 높은 상관계수를 나타냈으며 앞의 식(1)과 비교하면 실내 실험의 슬럼프 손실량이 큰 것을 알 수 있다. 이상 실험분석한 결과를 종합해 보면, 단위시멘트량 300~400 kg/m³의 범위에서는 슬럼프 손실량의 차가 거의 없었으며, 믹싱직후의 슬럼프값에 따라서도 일반적으로는 有意한 차가 없었으나, 콘크리트의 온도가 높고 장시간 교반하는 경우에는 믹싱직후의 슬럼프값이 클수록 슬럼프 손실이 큼을 알 수 있다.

4.3 혼화제의 종류가 슬럼프 손실에 미치는 영향

감수제와 같은 혼화제를 사용했을 경우 슬럼프 손실이 다소 커진다고 하는 연구보고^(21,22)도 있으며, Meyer 등은⁽²³⁾ 혼화제가 Soluble sulfate 와 3CaO·Al₂O₃ 함량 사이의 균형을 깨트리므로서 경미한 급결을 일으켜 워커빌리티나 슬럼프가 급격한 손실을 가져올 수 있다고 설명하고

있다.

여기서는 혼화제의 종류와 사용량이 슬럼프 손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실험한 결과를 나타낸 것이 그림 11~그림 14이다.

그림 11, 그림 12는 감수제를 사용한 콘크리트의 슬럼프값의 변화를 나타낸 것으로 감수제의 종류나 사용량에 따른 슬럼프 손실량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 한편 지연제를 사

용한 그림 13의 경우 슬럼프의 변화가 일정한 경향을 나타내었으나, 그림 14의 경우에는 혼화제를 사용하지 않은 콘크리트와 달리 슬럼프 손실이 크게 나타났다. 그러므로 지연제는 콘크리트의 응결시간을 지연시키는 효과는 있으나 슬럼프 손실을 감소시키는 효과는 거의 없으며, 오히려 슬럼프 손실을 촉진하는 경우도 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 시멘트의 水和過程에서

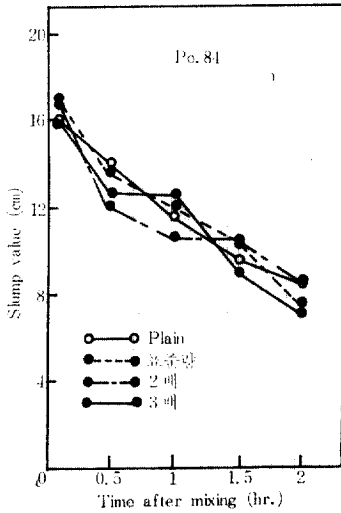


그림 11. 감수제를 사용한 콘크리트의 슬럼프값의 변화 (1)

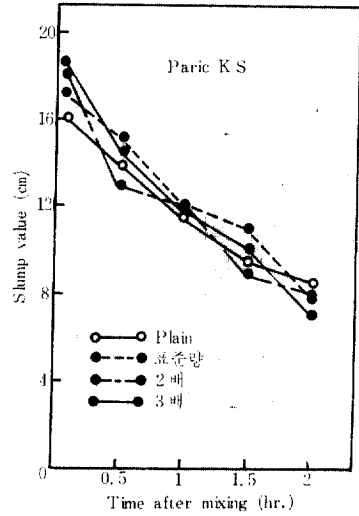


그림 12. 감수제를 사용한 콘크리트의 슬럼프값의 변화 (2)

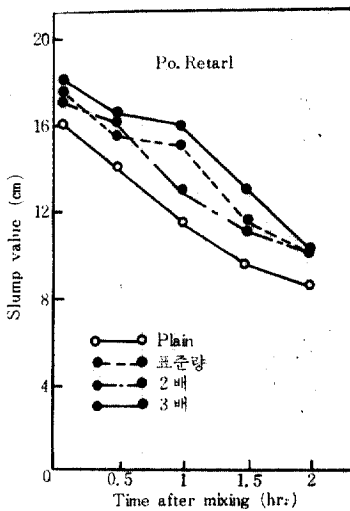


그림 13. 지연제를 사용한 콘크리트의 슬럼프값의 변화 (1)

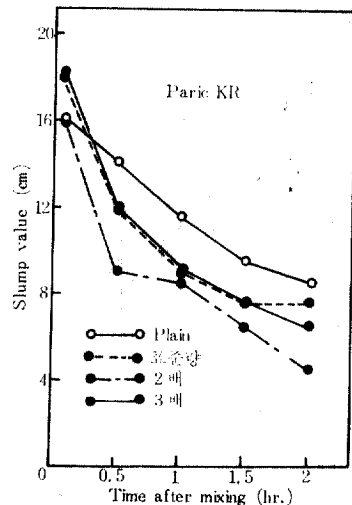


그림 14. 지연제를 사용한 콘크리트의 슬럼프값의 변화 (2)

潛伏期(Dormant period)가 길어진다고 해서 슬럼프 손실이 작게 나타나는 것이 아니며, 지연제가 초기수화반응을 촉진시킨 예가 있음을 지적한 Young의 보고⁽²⁴⁾와 일치한 경우로도 생각할 수 있다.

5. 레디믹스트 콘크리트의 슬럼프 損失에 관한 現場實驗

5.1 실험개요

(1) 실험 · 1 : 앞에서 레미콘의 슬럼프 손실량을 추정하기 위한 수단으로 문헌들에 의한 데이터를 분석해 보았으며 이때 구한 식(1)의 슬럼프

손실 추정식을 확인하기 위하여 레미콘 53대분에 대하여 믹싱직후 및 현장운반후의 슬럼프를 측정하였다. 그리고 레미콘의 운반시간과 콘크리트의 온도 및 슬럼프 측정결과를 표 7에 정리하였다.

(2) 실험 · 2 : 레미콘 운반차의 교반효과와 드럼내의 부위에 따른 슬럼프값의 변화상태를 알아보기 위하여 6m³의 레미콘을 적재한 후 2rpm 정도로 회전하면서 60분 정도 소요되는 현장까지 수송하였다.

그리고 에지레이터 드럼의 회전수에 의하여 배출개시시, 1/4, 1/2, 3/4 배출시 및 배출종료시의 5개 부위로 나누어 10대분에 대하여 슬럼프

표 7. 슬럼프 손실에 대한 현장실험결과

No.	운반시간 (분)	콘크리트 온도(°C)	슬럼프 (cm)		No.	운반시간 (분)	콘크리트 온도(°C)	슬럼프 (cm)	
			혼합직후	현장도착				혼합직후	현장도착
1	29	15	11.8	12.0	28	30	20	10.5	8.0
2	30	15	13.5	13.5	29	40	20	9.5	8.5
3	30	16	6.2	7.0	30	25	20	9.5	10.0
4	35	16	11.0	11.0	31	35	20	6.5	5.0
5	35	16.5	9.5	9.0	32	35	20	8.0	7.0
6	30	16	5.0	5.0	33	33	20	8.5	8.5
7	40	15	3.5	3.0	34	35	20	10.5	11.0
8	40	15.5	4.5	5.0	35	45	20	10.5	8.5
9	30	18	8.1	7.0	36	45	20	11.0	9.5
10	35	18.5	14.0	13.0	37	60	20	8.0	7.0
11	20	18	7.5	8.0	38	63	22	14.5	12.0
12	40	18	8.2	8.5	39	47	22	10.5	8.0
13	45	18	4.5	5.5	40	50	22	10.0	7.5
14	35	17	9.7	7.0	41	65	22	10.5	8.5
15	45	17.5	9.0	9.0	42	58	22	8.5	8.0
16	40	16	8.5	8.0	43	33	23	9.0	7.5
17	40	18	8.5	7.5	44	35	23	13.5	10.8
18	52	17.5	11.0	10.5	45	30	22	16.0	15.0
19	60	18	5.1	7.5	46	45	22.5	8.5	7.0
20	25	18	7.5	7.0	47	45	22.5	9.0	8.0
21	32	15	10.0	10.0	48	50	23	7.5	7.5
22	30	15	9.0	7.5	49	75	24	11.0	7.5
23	25	16	8.0	7.0	50	50	24	8.0	6.0
24	50	16	6.5	7.5	51	55	24	6.5	7.5
25	27	18	8.6	7.2	52	58	24.5	14.0	13.5
26	23	18	9.0	9.5	53	45	24.5	10.0	10.0
평균 (1-26)	35.5	16.8	8.4	8.2	평균 (27-53)	44.9	21.7	10.0	8.8
27	25	20	10.0	9.0	전체평균	40.3	19.3	9.2	8.5

를 측정하였다. 이때 시료채취부위를 편의상 처음부터 순서대로 1에서 5라 하였다. 레미콘의 배합은 일반적으로 수요가 많은 4종류를 사용하였으며, 굵은골재의 최대치수 25 mm, 실험기간중의 기온과 콘크리트 온도는 20~28°C 정도의 범위였다.

5.2 레디믹스트 콘크리트의 슬럼프 損失量 推定式에 대한 검토

레미콘 운반시간에 따른 슬럼프 손실량을 추정하는 중회귀식을 앞에서 구하였다. 이식의 실용성을 확인하기 위하여 현장실험한 결과를 나타낸 표 7에서 콘크리트의 온도를 15~19°C 범위와 20~25°C 범위로 구분하여 검토해 보기로 한다.

먼저 콘크리트 온도가 15~19°C 범위일 때 평균온도 16.8°C, 운반시간 35.5분이며, 콘크리트 온도가 20~25°C 범위일 때 평균온도 21.7°C, 운반시간 약 45분이었다. 이들 평균온도, 평균 운반시간 및 믹싱직후의 슬럼프값의 평균치를 각각 앞의 식(1)에 대입하여 슬럼프손실량을 구해보면 각각 0.5 cm와 1.0 cm가 얻어진다. 한편 실제 시험한 슬럼프 손실량의 평균치는 각각 0.2 cm와 1.2 cm로서 비교적 근사값임을 알 수 있다. 이번에는 콘크리트 온도 15~25°C 범위의 총평균온도 19.3°C, 총평균운반시간 40분에 대한 슬럼프 손실량을 식(1)에서 구해보면 0.7 cm가 되며, 현장실험에 의한 슬럼프 손실량과 잘 일치됨을 알 수 있다. 따라서 슬럼프 손실량을 구하는 중회귀식은 레미콘의 슬럼프 손실량을 예측하는데 매우 유용하게 적용할 수 있음을 확인하였다.

5.3 레디믹스트 콘크리트 운반차내의 部位別 슬럼프값에 대하여

타설현장까지 운반한 레미콘의 에지데이터 드럼의 부위별 슬럼프값을 알아보기 위해 실험한 결과를 표 8에 정리하였다.

그리고 슬럼프값의 평균치와 각 부위별 슬럼프값과의 차를 구하여 슬럼프의 변동값이라 정의하고 레미콘 운반차 10대에 대하여 각 부위별로 평균값과 표준편차를 구하여 정리한 것이 그림 15이다. 이 그림에서 배출개시시나 배출종료시의 슬럼프값은 중간부위(시료채취 부위·3)

표 8. 에지데이터 드럼의 부위별 슬럼프 측정결과

시료회수	부위					평균
	1	2	3	4	5	
1	11	13	14	13	11.5	12.5
2	15.5	17	17	18	17	16.9
3	7	6	7	7	6	6.6
4	9	9.5	10.5	10	10.5	9.9
5	7	7.5	8	8.5	9	8.0
6	11	11	10.5	12	10	10.9
7	7.5	8	8.5	8	7	7.8
8	11.5	14	14	11.5	12.5	12.7
9	11.5	12	13	13	11.5	12.2
10	10.5	12.5	13.5	13.5	10	12.0

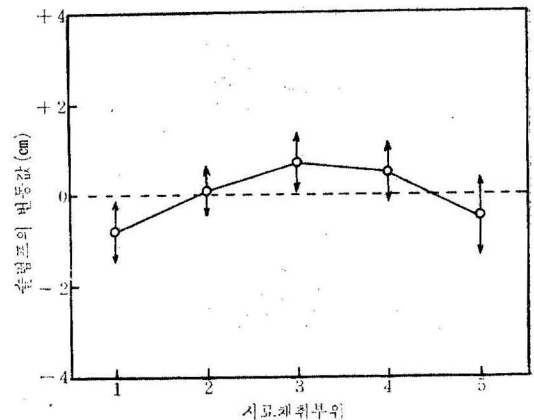


그림 15. 시료채취부위별 슬럼프의 변동값

보다 작은 값을 알 수 있으며 슬럼프값은 평균적으로 1.5 cm 정도의 차이가 있다. 또한 각 시료의 채취부위별 표준편차는 0.6~0.9 cm 범위에 속하며 거의 일정하다. 그리고 시료채취부위·2의 레미콘의 슬럼프값이 전체 슬럼프값의 평균치와 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과에 기인하여 표 7에서 현장도착시의 슬럼프값이 혼합직후의 슬럼프값보다 얼마간 큰 경우가 발생했으며, 시험치의 산포도 비교적 크게 나타난 것으로 생각된다. 한편 레미콘 운반차의 성능에 관한 규정측에는 레미콘의 용량중 1/4 부위와 3/4 부위에서 각각 시료를 채취하여 슬럼프 시험을 했을 때 양자 사이의 슬럼프값의 차가 3 cm 이내라야 한다고 규정하고 있으나 본 실험에서는 그 차이가 0.5 cm 정도의 범위이므로 규정을 충분히 만족하는 레미콘 운반차를 사용한 시험이었다.

6. 結 論

본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 레미콘과 관련된 연구내용에서 조사한 자료로서 레미콘의 운반중에 발생하는 슬럼프손실량을 추정할 수 있는 중회귀식을 제시하였고 이식의 실용성을 확인하기 위하여 현장실험을 실시하였으며, 실험에서 얻은 슬럼프 손실량과 식에 의해 구한 슬럼프 손실량이 잘 일치되므로 레미콘의 품질관리에 유익한 자료가 될 것으로 생각된다.

(2) 배치 플랜트에서 믹싱한 레미콘을 현장에서 타설완료할 때 까지의 소요시간을 3 단계로 구분하여 조사분석해 본 결과, 순수수송시간의 평균은 25분 정도이며, 대기시간을 합한 평균시간이 57분 정도였다. 그리고 레미콘 규격에 의한 허용시간 90분을 초과한 후에 타설되는 레미콘이 약 17%가 되며, 배출에 소요되는 시간까지를 가산한다면 약 35%에 달하므로 품질상의 문제가 야기될 것으로 예상되어 적절한 조치가 필요하다.

(3) 레미콘의 배합, 온도 및 혼화제의 종류가 슬럼프 손실에 미치는 영향에 대하여 실험한 결과에서, 단위시멘트량 $300\sim 400\text{ kg/m}^3$ 의 범위 및 믹싱직후의 슬럼프값에 따라서 일반적으로 슬럼프 손실량의 유의한 차가 없었으나 온도가 높고 장시간 교반할 경우 믹싱직후의 슬럼프값이 클수록 슬럼프 손실이 크게 나타났다. 그리고 감수제의 사용유무나 사용량에 따른 슬럼프 손실량은 차이가 거의 없었고 지연제의 종류에 따라서는 슬럼프 손실을 촉진하므로 사용전에 충분한 검토가 요망되었다.

(4) 국산 레미콘 운반차로 운반한 레미콘을 에지레이터 드럼의 부위별로 슬럼프값을 측정된 결과 배출개시시와 배출종료시의 슬럼프값은 중간부위의 슬럼프값보다 작은 경향을 나타냈으며 중간부위와 배출개시시의 슬럼프값의 차는 평균적으로 1.5 cm 정도였다. 그리고 레미콘 운반차의 성능에 관한 규정을 충분히 만족시키는 결과임을 확인하였다.

감사의 말

본 연구는 한국과학재단에서 연구비를 지원 받아 수행하였으며, 후원해 주신 한국과학재단 당국에 감사드립니다.

參 考 文 獻

1. 文翰英·崔在眞, 레디믹스트 콘크리트의 問題點分析과 그 對策에 대한 考察, 大韓土木學會誌, 第32卷 第5號, 1984. 10.
2. 文翰英·崔在眞, 레디믹스트 콘크리트의 品質改善을 위한 研究, 大韓土木學會論文集, 第3卷 第4號, 1983. 12.
3. 池田·溝口, 季節によるレデーミクストコンクリートの性狀變化, セメント・コンクリート, No. 186, 1962. 8.
4. F.W. Beaufait, *Effects of Improper Handling of Ready-mixed Concrete*, *Advances in Ready Mixed Concrete Technology*, Pergamon press, 1976.
5. J.G.L. Munday, *Transportation Effects on Concrete Workability*, *Advances in Ready Mixed concrete Technology*, Pergamon press, 1976.
6. L.H. Tuthill, *Slump loss*, *Concrete International* Jan. 1979.
7. 岸谷孝一, 暑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.
8. 高澤 外, 沖繩における暑中コンクリート試験舗装, セメント・コンクリート No. 340, June 1975.
9. 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.
10. 鳥田, 레デー미스트콘크리트, 콘크리트ジャーナル, Vol. 4, No. 8, Aug. 1966.
11. 明石, 콘크리트のリテンパリングについて, セメント・コンクリート No. 344, Oct. 1975.
12. 尾崎·藤本, 減水遲延劑を用いた富配合暑中コンクリートの工事例, セメント・コンクリート No. 278, April, 1970.
13. 龜田, 레デー미스트콘크리트の正しい使用方法(2), セメント・コンクリート No. 231.
14. 近藤, 콘크리트の輸送に關する研究, セメント技術年報 9, 1955.

15. 武田, 暑中コンクリートに関する実験, セメント技術年報 XVII, 1963.
16. 武田・中村, 暑中コンクリートとその問題点, セメント・コンクリート No. 179, 1962. 1.
17. 明石外, レデーミクストコンクリートの輸送時における性状変化について, 土木學會 第20回 年次學術講演概要集, 1965.
18. 米地馨, スランプロスの少ない流動化剤を用いたコンクリートについて, 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.
19. 土崎, 暑中コンクリートの強度上の特質とセメントの問題点, コンクリートジャーナル Vol. 4, No. 6, June 1966.
20. 長瀧外, 流動化コンクリートのスランプロス, セメント技術年報 37, 1983.
21. Robert W. Previte, Concrete Slump Loss, *ACI Jour.*, Aug. 1977.
22. Bayard M. Call, Slump Loss with Type "K" Shrinkage Compensating Cement Concrete and Admixtures, *Concrete International* Vol. 1, No. 1, Jan. 1979.
23. L.M. Meyer, W.F. Perenchio, Theory of Concrete Slump Loss as Related to the Use of Chemical Admixtures, *Concrete International*, Vol. 1, No. 1, Jan. 1979.
24. Young, J.F., Discussion of "Slump Loss Caused by Admixtures" by A.T. Hersey, *ACI Jour.*, *Proceedings* Vol. 73, No. 4, April 1976.
(接受: 1986. 2. 6)