

레디믹스트 콘크리트의 슬럼프 管理에 관한 一考

文 翰 英

〈한양대학교 토목공학과 교수〉

崔 在 眞

〈단국대학교 토목공학과 강사〉

1. 序 論

레디믹스트 콘크리트를 생산하는 배치 플랜트에서의 材料計量方式은 과거의 手動式에서 편치 카드 시스템을 거쳐 일부 컴퓨터를 이용한 全自動 시스템이 도입되는 발전을 보았다. 그러나 레디믹스트 콘크리트 (이하 레미콘으로 약함) 공장의 일상적인 중요 업무의 하나인 슬럼프 관리는 計量機가 발달한 오늘날에도 다루기 어려운 항목으로 생각되고 있다. 그것은 레미콘의 슬럼프가 골재의 表面水量 변동뿐 아니라 골재의 粒度, 粒形, 콘크리트 온도등 많은 요인의 변화에 따라 크게 변동하기 때문이다.⁽¹⁾ 그래서 현실적으로 계량담당 운전공의 目視判定에 의존하여 슬럼프가 관리되는 경우가 많이 있으며 운전공의 기능도에 따라 품질이 좌우되는 문제점이 지적되고 있다.

한편 레미콘은 運搬時間에 따라 품질이 변화하며 특히 시멘트의 初期水和, 水分의 蒸發 및 골재의 水分吸水 등으로 인해 슬럼프가 저하된다. 따라서 현장에서 슬럼프를 허용범위 이내로 유지시키기 위해서는 엄격한 생산관리에 의한 레미콘의 생산과 함께 運搬

時間에 따른 슬럼프 損失量을 고려하지 않으면 안된다.⁽²⁾

本稿에서는 이러한 問題點을 감소시키기 위하여 믹서의 電力負荷量의 측정에 의한 슬럼프 管理方案에 대하여 관계자료를 인용하여 고찰하고 슬럼프 損失에 영향을 미치는 要因分析 및 슬럼프 損失量의 推定方法에 대하여 검토하였다.

2. 製造時의 슬럼프 管理에 대한 考察

2.1 골재의 表面水 管理

레미콘 제조시 사용되는 재료 가운데서 슬럼프의 변동에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 골재 표면수량의 변동을 들 수 있다. 일반적으로 골재 표면량의 변동범위가 0.1% 이하일 때는 무시할 수 있으나 0.5% 이상되면 슬럼프가 2~5cm 정도 변화하며, 強度 또한 5~10% 정도 변화한다.⁽³⁾ 특히 잔골재의 표면수량이 큰 경우에는 1일에 몇회의 표면수량의 측정과 보정으로 슬럼프를 일정하게 유지하기 어려우므로 연속적으로 표면수량을 측정하여 이를 보정해야 하며, 위치에 따른 표면수량의 차이가 생기지 않도록

저장관리할 필요가 있다.

잔골재의 표면수량을 연속적으로 측정할 수 있는 장치로는 熱乾燥式 水分計, 中性子 水分計, 誘電率式 水分計 및 電氣電導度式 水分計 등이 개발되어 있다. 이중 그림-1의 誘電率式 水分計는 물이 다른 물질보다 誘電率 현저히 크기 때문에 잔골재의 誘電率을 측정함으로써 水分량을 측정할 수 있는 원리를 이용한 것으로서 一定體積中の 水分량을 측정하는 것이기 때문에 密度의 영향을 받아 精度가 높지 않은 편이나 취급이 용이하고 가격이 저렴하다는 점에서 레미콘 공장에서의 실용화의 가능성이 높은 것으로 알려져 있다. (4)

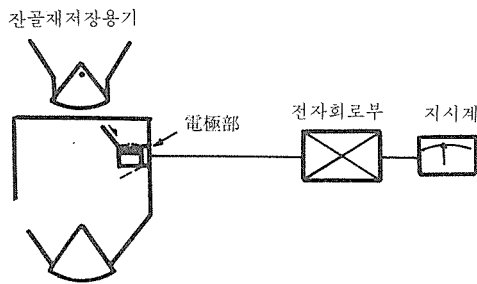


그림 1. 誘電率式 水分計

誘電率式 水分計는 靜電容量型 水分計라고도 하며, 靜電容量C는 蓄電器의 원리에서 極板面積A, 극판간격d, 誘電體의 誘電率 ϵ_r 이라 할 때 다음식으로 구할 수 있다.

$$C = \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

또 진공중의 誘電率을 ϵ_0 , 誘電體의 相對誘電率을 ϵ_r 이라 하면

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = K \cdot \epsilon_r \quad (\text{상수 } K = \epsilon_0 \frac{A}{d})$$

의 관계가 성립되어 靜電容量은 誘電體의 相對誘電率에 의해 결정된다. (5)

그림-2는 靜電容量과 잔골재의 표면수량과의 관계를 시험한 한 예 (6)를 나타낸 것으로 양자는 직선적인 높은 상관관계가 있음을 알 수 있다. 靜電容量과 표면수량과의 관

계는 잔골재의 粒度에 따라서도 차이가 있어서 표면수량이 같은 경우 粗粒率이 클수록 靜電容量은 크게 된다고 하며, 표면수량 약 10%를 전후하여 다른 직선의 기울기를 나타낸다는 실험에도 있기 때문에 앞으로 검토의 여지가 남아있다. 그러나 이 水分計를 적절히 사용하면 잔골재의 표면수량을 $\sigma = \pm 0.6\%$ 정도의 精度로 연속적인 측정이 가능하다고 하므로 (6) 앞으로 레미콘 공장에서의 활용이 기대된다.

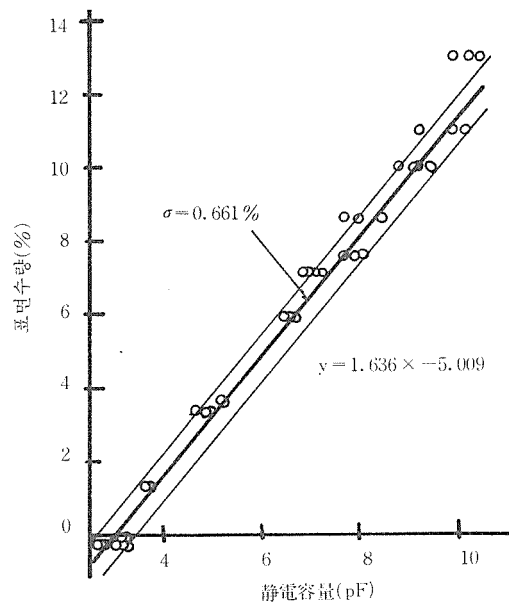


그림 2. 靜電容量과 표면수량의 관계

2.2 믹서의 電力負荷量과 슬럼프의 관계

혼합시 믹서 모터의 電力 또는 電流와 레미콘의 반죽질기의 사이에는 높은 상관성이 있기 때문에 혼합개시후 전력이 안정되는 시점의 전력치를 검출하면 레미콘의 슬럼프를 추정할 수 있는 것으로 알려져 있다.

그림-3은 혼합시 電力負荷量의 변화를 나타낸 실험예로서 (7) 슬럼프가 낮을수록 전류치는 높게 되며, 전류가 안정되는 시점은 대체로 45초 정도 혼합했을 때임을 보이고 있다.

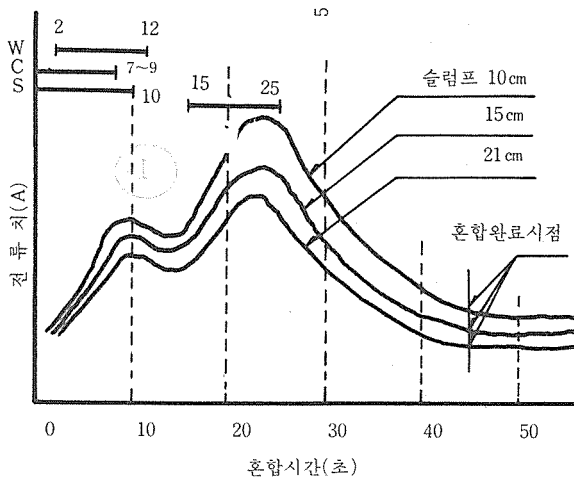


그림 3. 혼합시 電力負荷量의 변화

電力負荷量(W)과 슬럼프(Sl)의 관계를 시험한 예가 그림-4이며 다음의 관계가 있다고 한다.⁽⁸⁾

$$Sl = (A - BW) \times K + A'$$

여기서 A, B : 상수

K : 혼합량에 따른 계수

A' : 믹서 날개의 마모 또는 콘크리트 부착정도에 따른 보정치

한편 電力負荷量과 슬럼프의 관계는 단위

시멘트량과 굵은골재의 크기에 따라서도 차이가 있으며, 그림-5와 그림-6에 보인 바와 같이 동일한 반죽질기에서도 富配合일수록 그리고 굵은골재의 크기가 클수록 믹서의 電力負荷量은 크게 되는 경향이 있다고 한다.⁽⁷⁾ 따라서 이들의 영향을 고려함으로써 믹서의 驅動力에 의해 보다 높은 精度의 슬럼프 추정이 가능할 것으로 판단된다.

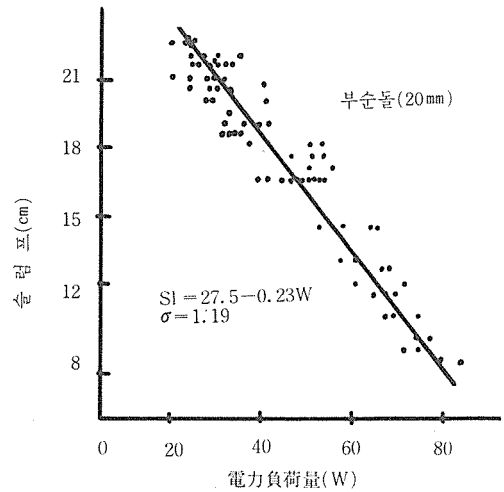


그림 4. 슬럼프와 電力負荷量의 관계

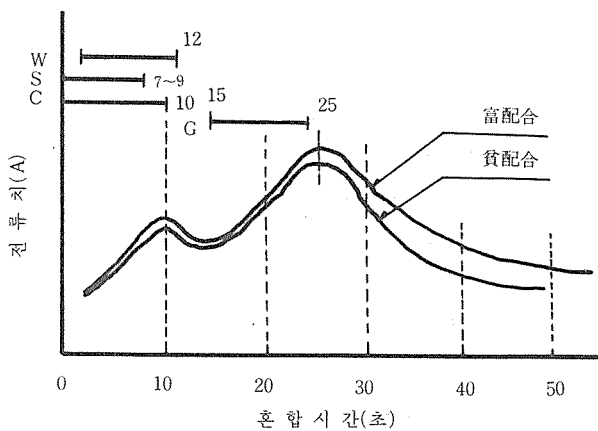


그림 5. 단위시멘트량과 電力負荷量과의 관계

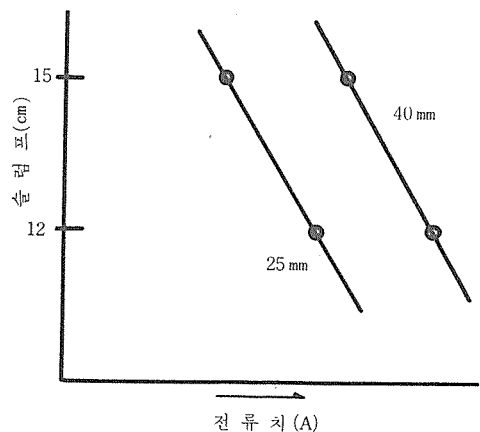


그림 6. 굵은골재 최대치수와 電力負荷量의 관계

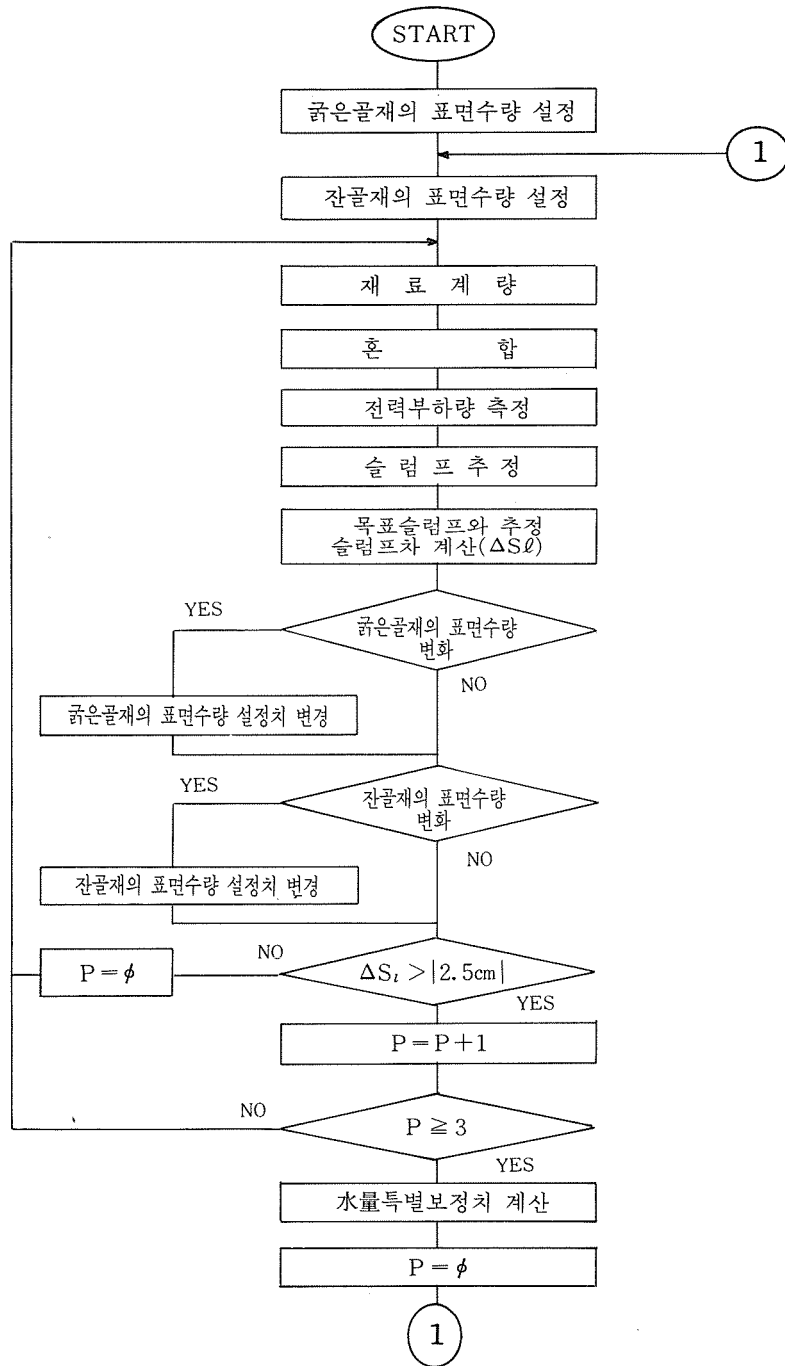


그림 7. 슬럼프 관리 계통도

이상 검토한 내용을 슬럼프 관리에 효율적으로 이용하기 위한 하나의 案으로 나타난 것이 그림-7이다.

이 흐름도에서 먼저 굵은골재와 잔골재의 표면수량을 측정하여 表面水 補正裝置에 그 값을 설정한 후 재료계량 및 혼합을 하며, 혼합시의 電力負荷量을 측정하여 슬럼프를 추정하고 목표슬럼프와의 차를 구한다.

다음으로 굵은골재 및 잔골재의 표면수량의 변화가 있으면 표면수량 설정치를 변경하며 목표슬럼프와 추정치와의 차이가 2.5cm 이상되는 경우가 연속적으로 3회가 될 때는 표면수 이외에 다른 복합요인에 의해 슬럼프가 변화하였다고 판단하여 水量을 조정한다. 여기서는 이를 水量特別補正值라고 하였으며, 이 값은 잔골재의 표면수량으로 환산하여 다음 배치의 잔골재 표면수량 설정시 이 값을 가산한다.

이상의 일련의 작동은 마이크로 컴퓨터를 이용한 그림-8의 시스템에 의해 가능하다고 판단된다.

3. 輸送時의 슬럼프 損失에 대한 考察

3.1 슬럼프 損失에 영향을 미치는 要因

레미콘의 運搬時間에 따른 슬럼프 損失의 정도는 사용재료, 콘크리트 온도 및 配合 등에 따라 좌우된다. 사용재료중 시멘트 화학성분의 영향으로서 알민산 3석회 ($3CaO \cdot Al_2O_3$)와 알민산철 4석회 ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$)

의 初期水和反應性이 현저하기 때문에 이들 組成礦物이 슬럼프 損失의 정도에 영향을 미치며 張瀧등에⁽⁹⁾의하면 알민산 3석회의 함유량이 많은 보통포틀랜드시멘트의 슬럼프 損失이 중용열포틀랜드시멘트보다 다소 크다고 한다.

한편 混和劑의 영향으로서 減水劑나 遲延劑를 사용할 경우 슬럼프 損失이 다소 커지거나 같은 수준이라는 실험결과가 많으며, Meyer등은⁽¹⁰⁾ 混和劑가 可溶性黃酸과 알민산 3석회 함량 사이의 균형을 깨뜨려 경미한 急結을 일으키며 워커빌리티가 급격히 저하될 수 있다고 설명하고 있다.

그림-9와 그림-10은 콘크리트의 配合 및 온도가 슬럼프 損失에 미치는 영향을 조사하기 위하여 단위시멘트량 300, 350 및 400kg/m³, 그리고 슬럼프 13, 17 및 21cm를 목표로 9종류의 配合를 정하여 믹서를 2rpm으로 회전시키면서 실험실에서 실험한 결과이다.⁽²⁾

이 그림에서 콘크리트의 온도 18°C 및 30°C인 경우, 각기 경과시간에 따라 슬럼프가 거의 일정한 비율로 저하됨을 알 수 있다. 또 分散分析한 결과 단위시멘트량 300~400kg/m³의 범위에서는 단위시멘트량이 많고 적음에 따라 슬럼프 損失량의 차이가 거의 없으며, 혼합직후의 슬럼프가 크고 작음에 따라 서로 일반적으로 차이가 없으나 콘크리트 온도가 30°C로 높고 長時間 攪拌하는 경우에는 슬럼프값이 클수록 슬럼프 損失이 큰 것으로 나타났다.

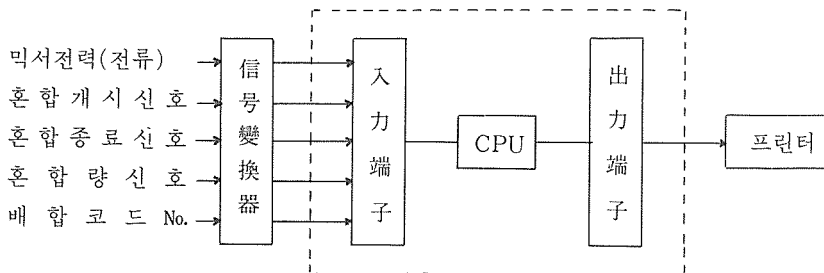


그림 8. 시스템 구성도

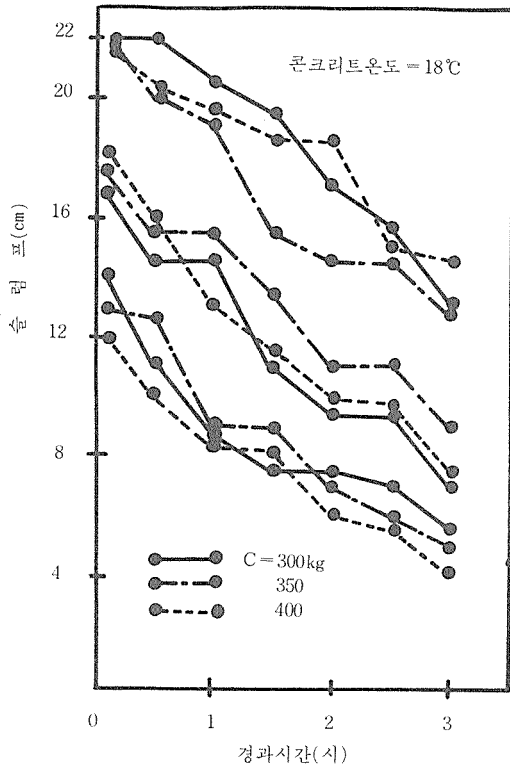


그림 9. 경과시간에 따른 슬럼프의 변화

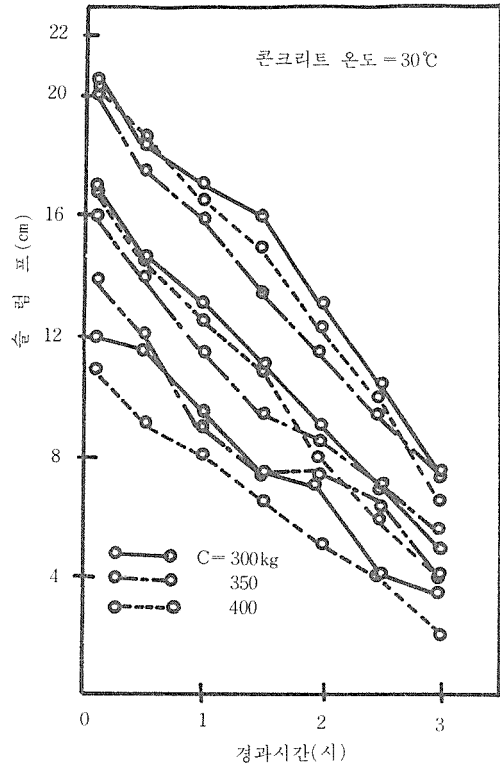


그림 10. 경과시간에 따른 슬럼프의 변화

3.2 슬럼프 損失量의 推定

레미콘의 運搬時間에 따른 슬럼프 損失量을 추정하기 위한 방안을 제시하기 위하여 에지데이터 트럭을 사용하여 슬럼프의 변화를 측정 한 결과를 발표하고 있는 국내의 18개의 문헌에서 발췌한 59개 데이터를 분석하였다.⁽²⁾

이때 레미콘의 運搬時間과 슬럼프 損失量과의 관계는 상관계수가 0.56으로 상관관계가 좋지 않았다. 이는 문헌마다의 실험조건이 상이하았던 점에 기인한 것으로 판단되어 다음과 같은重回歸모델로 가정하였다.

$$Y = \beta_1 X_1 X_2 + \beta_2 X_1 X_3 + \beta_3 X_1 X_4 + \beta_4 X_1 + \beta_5$$

여기서 Y: 슬럼프 損失量 (cm)

$\beta_1 \dots \beta_5$: 회귀계수

X_1 : 운반시간 (분)

X_2 : 콘크리트 온도 ($^{\circ}\text{C}$)

X_3 : 혼합직후의 슬럼프 (cm)

X_4 : 混和劑 使用有無 (사용한 경우

우: 1, 사용하지 않은 경우: 0)

SPSS 프로그램을 이용하여 重相關係數 R, 決定係數 R^2 , 單相關係數 Simple R 및 回歸係數 β 를 구하여 정리한 것이 표-1이다. 이 표에서 運搬時間 X 콘크리트 온도 ($X_1 \cdot X_2$)를 나타내는 單相關係數는 0.624로 가장 높

표 1. 상관계수 및 회귀계수

변 수	R	R^2	simple R	β
$X_1 \cdot X_2$	0.624	0.389	0.624	0.961×10^{-3}
$X_1 \cdot X_4$	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}
상 수				-0.952

표 2. 슬럼프 손실량의 추정치(cm)

콘크리트온도 (°C)	운 반 시 간		
	30 분	60 분	90 분
10	0	1	2
20	0.5	1.5	3
30	0.5	2	3.5
35	0.5	2.5	4

으며 가정한 회귀모델은 重相關係數가 0.677로 비교적 좋은 상관관계를 보였다. 그리고 이 회귀식은 有意水準 1%에서 有意하며, 현장실험에서도 실제와 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

위의 회귀식에 의해 제 조건별로 混和劑를 사용하지 않은 콘크리트의 슬럼프 損失量을 구해보면 표-2와 같으며 이 표를 참조로 레미콘 제조시 單位水量 및 단위시멘트량을 증가시킴으로써 슬럼프 損失에 따른 品質問題를 해결할 수 있을 것으로 생각된다. 다만 混和劑의 경우에는 混和劑를 사용한 콘크리트의 종류에 따라 슬럼프 損失量이 크게 차이가 있을 것으로 예상되기 때문에 반드시 확인시험을 실시할 필요가 있으며 또한 이러한 자료가 축적되면 混和劑를 사용한 경우에도 신뢰성 있는 슬럼프 損失量의 추정이 가능하다고 생각된다.

4. 結 論

이상 레미콘의 슬럼프 管理를 위하여 검토한 내용은 다음과 같다.

(1) 레미콘의 슬럼프 變動에 영향을 크게 미치는 골재의 表面水量은 誘電率式 水分計를 적절히 이용함으로써 비교적 좋은 精度로 연속적인 측정이 가능하다고 판단된다.

(2) 레미콘의 슬럼프값은 혼합시 믹서모터의 電力負荷量에 의해 측정이 가능하며, 이를 이용한 슬럼프 管理方案이 제안되었다.

(3) 레미콘 輸送時에 발생하는 슬럼프 損失量을 推定할 수 있는 重回歸式을 구하였으며, 현장실험을 통하여 이 식의 實用性을

확인하였다.

<참고문헌>

1. 政村兼一郎, 生コンにおける技術上の課題, セメン・コンクリート No. 477, Nov. 1986, pp. 54~57
2. 文翰英·崔在眞, 레디믹스트 콘크리트의 슬럼프 損失量의 推定 및 슬럼프 損失에 영향을 미치는 要因分析, 大韓土木學會論文集, 第6卷 第2號, June 1986, pp23~34.
3. 西澤紀昭, 骨材·콘크리트 技術の基礎 社團法人 日本콘크리트 會議, 1973
4. 政村兼一郎, 生コンプラント一裝置と保守一, 日本콘크리트工學協會, 1980, pp.178~183.
5. 權五千外 2人역, 物理化學, 普成文化社, 1983, pp.641~643.
6. 西晴載外, 靜電容量型細骨材水分計 品質管理, No.392, Oct. 1979, pp.32~37.
7. 生コン工場品質管理ガイドブック, 全國生콘크리트 工業組合連合會, 1975, pp.101~102.
8. 菊池康彦外 2人, オ 出荷管理 檢出機能について 第 2回生 콘技術大會 研究發表論文集, 全國生콘크리트工業組合連合會, 1983, pp.155~160.
9. 張瀧外, 流動化콘크리트의 슬럼프 로스, セメント技術年報 37, 1983. pp. 163~166.
10. 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, pp. 36~43.