

# 레미콘의 단위수량 측정방법과 관리기준 기술동향

이 종 열 (쌍용기술연구소 소장)

엄 태 선 (쌍용기술연구소 콘크리트연구실 실장)

이 응 중 (쌍용기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원)

## 1. 서 언

콘크리트 경화 후의 중요한 물성으로서 강도나 내구성이 열거하게 된다. 강도는 주로 물-시멘트비에 의해 결정된다. 내구성 중에서 동결융해 저항성은 물-시멘트비와 공기량의 설정이 중요하다. 또한 건조수축이나 중성화, 염분침투 저항성 등은 콘크리트 조직의 치밀화를 확보하는 것이 중요하다. 따라서 콘크리트 내구성의 향상 측면에서 레미콘의 배합은 물-시멘트비와 단위수량의 저감이 가장 중요하다. 이와 같은 콘크리트 경화 후의 물성은 주로 물-시멘트비, 단위수량, 공기량에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 통상, 굳지 않은 콘크리트의 품질검사 항목으로서 슬럼프, 공기량, 온도, 단위용적질량, 염화물 이온 등이 시험된다.

이중에서 슬럼프 시험은 콘시스턴시를 평가하기 위한 시험방법이지만, 이 시험에 의해 콘시스턴시에 가장 큰 영향을 미치는 단위수량을 간접적으로 관리한다고 말할 수 있다. 그러나, 슬럼프는 측정조건이 일정하면 어느 정도 수량의 변화를 알 수 있지만, 제조 후에 경시변화가 생기는 것이나 혼화제의 양이나 온도, 공기량으로부터 변화하기 때문에 슬럼프와 단

위수량은 반드시 대응하지 않는다.

한편, 물-시멘트비는 시멘트와 물의 혼합비이지만 이중에서 시멘트 양에 대해서 레미콘 플랜트의 계량 정도의 향상이나 자동기록기의 보급에 따라 비교적 용이하게 평가할 수 있다. 이것에 비해서 단위수량의 정확한 파악은 용이하지 않다. 콘크리트 제조에 사용하는 골재에는 어느 정도 표면수가 포함되어 있고, 혼합시에 투입하는 수량은 본래의 단위수량으로부터 이의 골재 표면수를 뺀 양으로 하지 않으면 안 된다. 그러나 골재 표면수의 양은 변화하기 쉽고, 이의 양을 리얼타임으로 정확하게 파악하는 것은 곤란하기 때문이다. 또한, 골재입도의 미소한 변화가 콘크리트의 굳지 않은 콘크리트의 성질에 미치는 영향을 보정하는 목적으로부터 골재의 표면수량 값을 인위적으로 조작해서 투입량을 수정하는 경우도 있어서, 혼합시 투입된 참의 단위수량은 명확하지 않은 경우가 있다. 이와 같이 단위수량은 콘크리트의 품질에 중대한 영향을 미치는 요인이면서, 이의 정확한 파악은 상당히 어렵다는 문제점이 있다. 그리고 콘크리트의 강도관리는 일반적으로 재령 28일의 압축강도 시험으로 행하고 있고, 이 시점에서의 콘크리트 품질에 결함이 확인되어도 이미 구조물의 건설

이 한창 진행중에 있어 구조물의 대규모 보수나 철거는 곤란하다는 문제점이 있다.

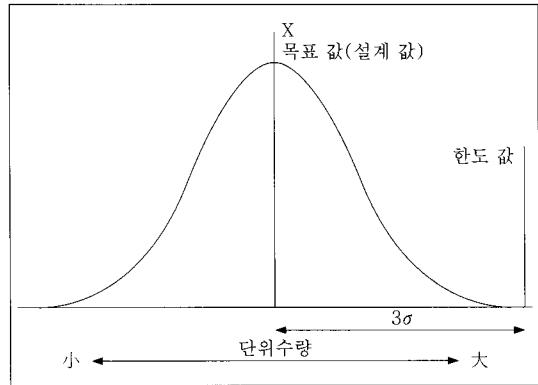
따라서 콘크리트의 품질을 타설직전에 신속하게 판단할 수 있는 시험방법의 확립 및 현장에서 신속하고 간편하게 단위수량을 추정하는 기법의 확립이 요구되고 있다. 따라서, 본고에서는 우선 단위수량관리기준, 신속측정방법의 종류, 단위수량에 미치는 영향인자에 대하여 기술하고, 마지막으로 단위수량관리 플로우에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. 단위수량 한도 설정

단위수량의 일반적인 정의는 콘크리트 1m<sup>3</sup>를 만드는데 소요되는 물의 양을 말하는데 단위수량 한도 설정에 관계하는 용어를 정의하면 목표 단위수량, 단위수량 추정 값, 목표 단위수량의 한도로 구분할 수 있다. 목표 단위수량이라 함은 콘크리트 배합설계 결과에 따라 정한 레이콘 혼합 직후의 콘크리트를 목표로 하는 배합 보고서 기재의 단위수량을 말한다. 단위수량의 추정 값은 레이콘 중의 수량의 측정 결과를 이용하여 추정된 단위수량을 말한다. 또한 목표 단위수량의 한도는 제조 시에 목표로 하는 모집단 평균 값의 추정 값에 대한 상한 값을 말한다. 여기서 목표 단위수량의 한도 설정에 대해서 3가지 방안을 고려해 볼 수 있다.

첫번째는 모든 시험에 있어 한도 값(배합보고서에 나타난 단위수량의 값) 이하이어야만 한다.(<그림-1> 참조) 만일, 시험 오차를 포함해 단위수량 변동의 표준 편차( $\sigma$ )를 10kg/m<sup>3</sup>로 하면, 목표치 = 한도 값 -  $\sigma$ 인 것으로부터, 한도 값이 175kg/m<sup>3</sup> 경우의 목표 값은 175-3 ×  $m \leq 145$ (kg/m<sup>3</sup>)가 아니면 안된다. 그러나 이 값은 열악한 골재 사정상, 고성능 AE 감수제를 사용하지 않는 한, 대부분 실현성이 부족한 목표 단위수량 값으로 된다.

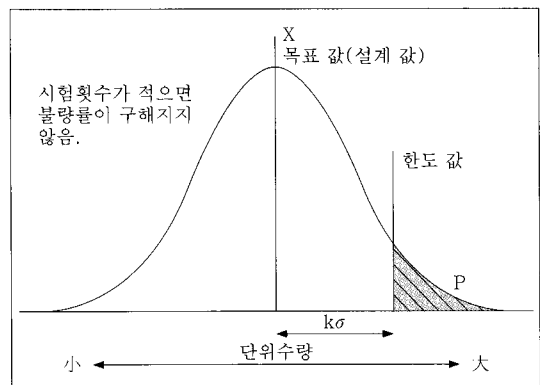
두번째 방안은 한도 값을 초과하는 불량률이 기준치보다 작아야만 된다(<그림-2> 참조)는 것이다. 한도 값에 대한 목표 값의 할인은 불량률에 따라서 정



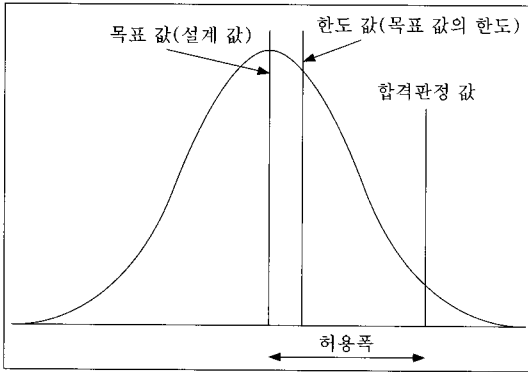
<그림-1> 모든 시험 값이 한도 값 이하

해지며, 그 할인량은 첫번째 방안의 3 $\sigma$ 보다 작게 된다. 다만, 시험 회수가 적으면 불량률 p가 구해지지 않는다.

세번째 방안은 목표 값(설계 값)이 한도 값 이하이고, 또한, 시험 값이 목표 값(설계 값)에 대해서 소정의 허용 폭 이내가 되어야만 된다.(<그림-3> 참조) 목표 값(설계 값)에 대해서 허용 값이 제시되고, 그것을 넘었을 경우를 불합격으로 한다. 이상과 같이, 단위수량의 기준은 단위수량의 한도나 합격 판정 방법에 따라 차이가 있지만, 2003년 일본 국토교통성 통지에 의해, 목표 값(설계 값)과 합격 여부 판정에 관한 기준은 세번째의 방안이 기준으로 되었다. 한국내에서는 단위수량의 한도 값이 규정되어



<그림-2> 불량률이 한도 값 이하



〈그림-3〉 목표 값이 한도 값 이하이면서 시험 값이 허용폭 이내

있지 않지만, 국내에 도입이 된다면 세번째 방안이 적용한 방법이라고 생각된다. 여기서 배합 보고서에 제시되는 단위수량은 세번째의 목표 값(설계 값)인 단위수량을 말한다.

### 3. 단위수량 검사 기준

목표 단위수량의 한도규정 관련하여 일본 시방서 규정을 살펴보면, 토목구조물의 경우, 굵은 골재 최대치수가 0~25mm의 경우에는 175kg/m<sup>3</sup> 이하, 굵은 골재 치수가 40mm 이하의 경우에는 165kg/m<sup>3</sup> 이하로 규정되어 있다.(일본 콘크리트 표준시방서) 한편 건축구조물용 콘크리트의 목표 단위수량은, 일본건축공사표준시방서(JASS 5)에 제시된 고내구성 콘크리트 혹은 고강도 콘크리트의 경우에는 175kg/m<sup>3</sup> 이하, 그 이외의 일반강도의 콘크리트에서는 185kg/m<sup>3</sup> 이하로 규정되어 있다. 참고로, 한국 콘크리트 표준시방서에서는 단위수량 한도규정은 되어 있지 않으며, 건축공사표준시방서에는 185kg/m<sup>3</sup> 이하로 규정되어 있다.

단위수량 검사와 관련하여 일본 국토교통성 통지에 의하면 단위수량 측정은 하차지점에서 하게 되어 있다. 단위수량의 검사결과가, 배합보고서의 단위수량(목표 단위수량)에 대해서 ±15kg/m<sup>3</sup> 이하의 경우에는 무조건 합격으로 되며, ±15kg/m<sup>3</sup>를 넘고

20kg/m<sup>3</sup> 이하의 경우에는, 단위수량 관리의 충실을 도모하는 경고가 발해지는 것과 동시에, 검사 빈도를 늘려 검사결과가 목표 단위수량에 대해서 15kg/m<sup>3</sup> 이하가 되는 것을 확인하는 것이 행해진다. 더욱이 20kg/m<sup>3</sup>를 넘는 경우에는 콘크리트의 타설을 중지하고, 15kg/m<sup>3</sup> 이하가 되는 것을 확인할 수 있을 때까지 타설을 재개를 할 수 없게 되므로, 레미콘 공장에서는 이 검사기준에 충분히 적합하도록 단위수량의 관리를 행하는 것이 필수적이다.

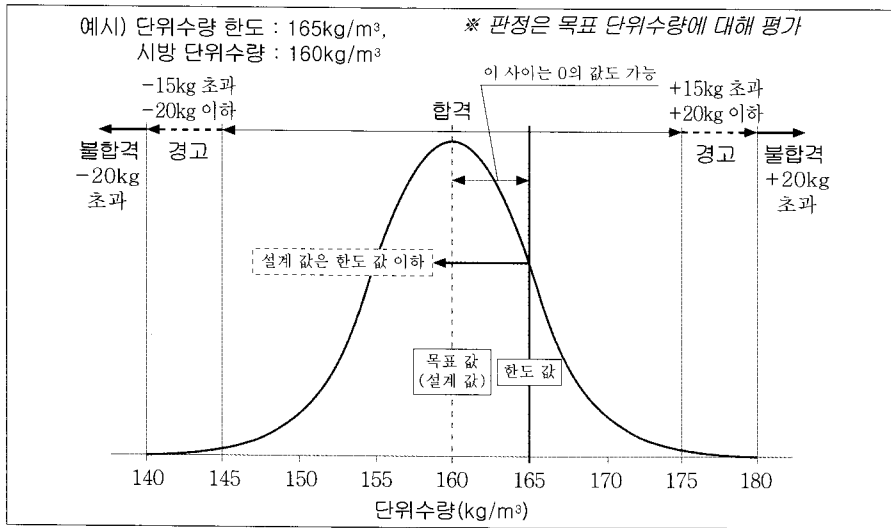
이 검사기준과 허용범위의 관계를 나타낸 것이 〈그림-4〉와 같다.

또한, 국토교통성의 합부 판정은 -(마이너스) 값이 커졌을 경우에서도, 경고나 불합격으로 취급된다. 이것은, +(플러스)측만의 규정이라면, 단위수량이 작으면 그만인데, 설계 값을 한도 값 이하로 크게 하면, 단위수량의 변동이 커져도 합격하기 쉬워지는 것을 방지하기 위함이다.

또한, 경고 값 ±15kg/m<sup>3</sup>의 근거는 다음과 같다. 시험오차의 표준편차( $\sigma$ )를 5kg/m<sup>3</sup>로 하면,  $2\sigma = 10\text{kg/m}^3$ , 레미콘 공장에서의 단위수량의 진정한 변동의 표준편차( $\sigma$ )를 5kg/m<sup>3</sup>로 하면,  $2\sigma = 10\text{kg/m}^3$ 의 가정 아래에서는, 검사결과와 편차( $2\sigma$ )의 범위는

이다.

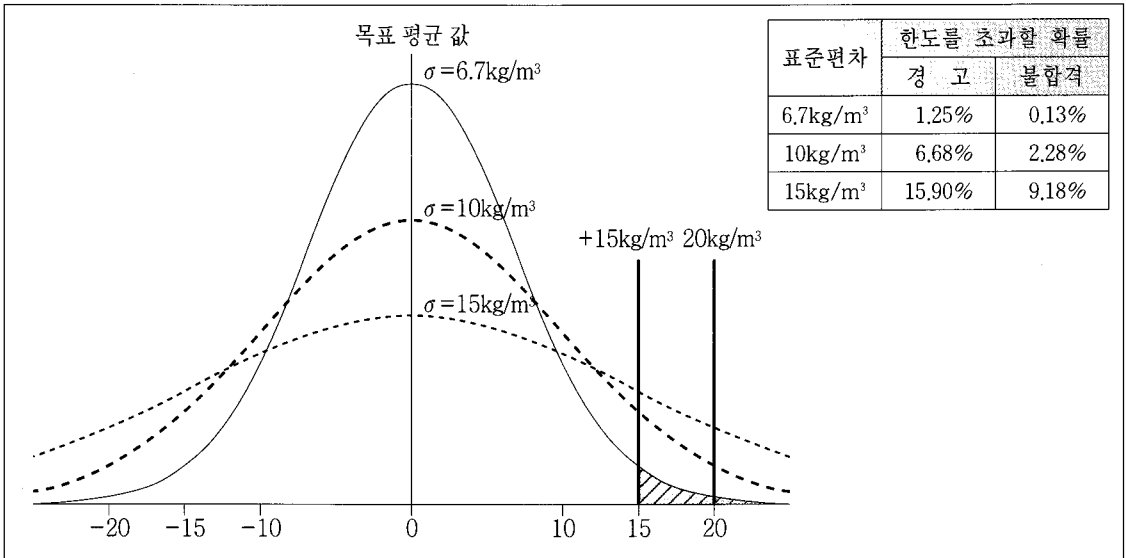
한편, 일본 한신고속도로공단에서는 단위수량 검사기준에 실측데이터를 근거로한 단위수량 관리기준을 제안하였으며, 그의 결과는 〈표-1〉에 제시하였다. 한신고속도로공단의 검사기준은 일본국토교통성 통지에 비해 측정정도나 검사기준 값에 대해 더욱 엄격하게 적용하였다. 엄격해진 내용을 살펴보면, 합격판정기준은 ±10~15kg/m<sup>3</sup>으로 약 ±5kg/m<sup>3</sup> 더 적게 적용하였다. 이의 근거는 단위수량 측정기의 메이커의 발표 값과 일본 콘크리트 공학협회 위원회 보고서에 의하면 측정기 자체의 정도는 3.0kg/m<sup>3</sup>을 하회하는 것이 대부분이고, 더욱 한신고속도로공단 20개 현장에서의 조사결과, 골재의 표면수를 측정결과에 의해 추측한 공장 제조과정에서의 표준편차를 단위수량으로 환산하면, 4.4kg/m<sup>3</sup>로 되어



〈그림-4〉 단위수량 관련 일본 국토교통성의 한도 값과 합격판정기준

〈표-1〉 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 관리기준

항 목	국 토 교 통 성	한 신 고 속(안)
적용 범위	100m <sup>3</sup> /일 이상	100m <sup>3</sup> /일 이상
배합 설계 단위수량의 상한치	골재 최대치수 40mm→165kg/m <sup>3</sup> 25mm→175kg/m <sup>3</sup>	골재 최대치수 40mm→165kg/m <sup>3</sup> 25mm→175kg/m <sup>3</sup>
측정 빈도	① 2회/일(오전, 오후) ② 중요 구조물 : 100~150m <sup>3</sup> 에 1회	① 최초의 1대째 ② 이후, 1회/100m <sup>3</sup> ③ 오후의 최초의 1대째
주의 권고 범위 (타설은 가능)	배합설계치 ±15 초과 ~ ±20kg/m <sup>3</sup> 이내 [해당된 경우의 대응] 수량 변동의 원인을 조사, 레미콘 제조자에게 개선 지시. 그후, 배합설계치 ±15kg 이내에서 안정될 때까지 운반차 3대에 1회의 빈도로 측정.	배합설계치 ±10 초과 ~ ±15kg/m <sup>3</sup> 이내 또한 배합설계 단위수량의 상한치 ±5kg/m <sup>3</sup> 이하 [해당된 경우의 대응] 수량 변동의 원인을 조사, 레미콘 제조자에게 개선 지시. 다음 차의 단위수량을 측정해, 측정 결과가 배합설계치 ±10kg/m <sup>3</sup> 이내이면, 통상의 빈도로 돌아온다.
관리 한계 (타설불가)	배합설계치 ±20kg/m <sup>3</sup> 초과 [해당된 경우의 대응] 레미콘 반환, 수량 변동의 원인을 조사, 제조자에게 개선 지시. 그후, 모든 운반차의 측정을 실시해, 배합설계치 ±20kg 이내가 되는 것을 확인. 한층 더 배합설계치 ±15kg 이내에서 안정될 때까지 3대에 1회의 빈도에서의 측정을 행한다.	배합설계치 ±15kg/m <sup>3</sup> 초과 혹은 배합설계 단위수량의 상한치 ±5kg/m <sup>3</sup> 초과 [해당된 경우의 대응] 레미콘 반환, 개선 지시, 물량 변동의 원인을 조사. 다음 차 이후 ±10kg/m <sup>3</sup> 이내 또한 배합설계 단위수량의 상한치 ±5kg/m <sup>3</sup> 이하의 측정치가 2대 연속으로 출현할 때까지 모든 차의 단위수량을 계측.
재시험 여부	가	가(관리한계의 측정결과가 출현했을 때)
측정기기	에어미터법이나 이것과 동일한 정도, 혹은 그것 이상의 정밀도를 가지는 측정 기기.	에어미터법(주수법)이나 이것과 동일한 정도, 혹은 그 이상의 정도를 갖고 있는 측정기기.



〈그림-5〉 일본 국토교통성 합부판정기준에 근거로 한 표준편차와 한도 값을 초과할 확률의 관계

측정기 자체 및 제조과정에서의 각각 오차를  $2\sigma$ 로 한 경우의 합성 오차는  $\text{kg/m}^3$ 인 결과이다. 또 하나 일본 국토교통성 통지에는 없는 배합설계 단위수량 한도 값도 검사기준에 포함되어 있다.

한편, 공장에서의 단위수량의 측정오차를 포함한 표준편차와 한도치를 넘는 확률과의 관계를 〈그림-5〉와 같다.

이 그림으로부터 알 수 있듯이, 시험오차를 포함해  $\sigma = 6.7\text{kg/m}^3$ 이면  $+15\text{kg/m}^3$ 를 넘을 확률은 대략 1/80이며, 경고를 받을 확률은 매우 낮지만,  $\sigma = 10\text{kg/m}^3$ 이 되면, 경고를 받을 확률은 대략 1/15이며 관리 폭의 삭감을 피할 필요가 있다. 더욱더  $\sigma = 15\text{kg/m}^3$ 에서는 대략 1/6의 확률로 경고를 받게 된다. 전술한 것처럼, 일본 국토교통성의 기준에서는, 품질의 불균형에 의한 표준편차가  $5\text{kg/m}^3$ , 샘플링을 포함한 시험오차로서의 표준 편차가 같이  $5\text{kg/m}^3$ 로 간주하고 있어, 그  $\sigma$ 의 합성오차는,

$$\sigma =$$

따라서, 〈그림-5〉에 나타난  $6.7\text{kg/m}^3$ 의 케이스와 매우 가깝다. 이 정도의  $\sigma$  이하로 관리목표를 설정할 필요가 있다고 생각된다.

## 4. 단위수량의 측정

### 가. 단위수량 추정방법

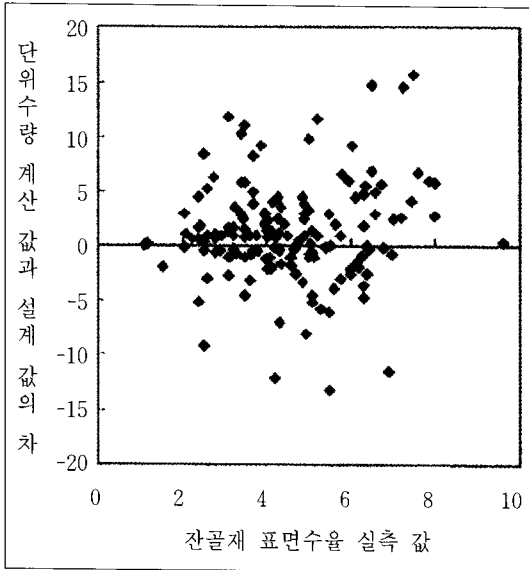
단위수량의 추정시험방법을 대별하면 다음 3가지이다.

① 각 재료의 계량자기기록 값과 골재의 표면수율로부터 계산해서 구하는 방법

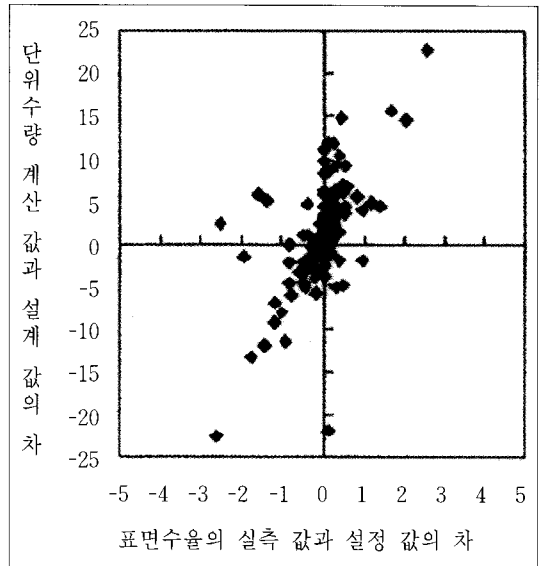
② 굳지 않은 콘크리트의 썩기시험방법에 의해 구하는 방법

③ 신속시험방법으로부터 구하는 방법

이중에서 ①의 방법은 골재의 표면수율이 상당히 안정한 상태에 있지 않는 한 정도 높게 추정하는 것은 곤란하다. 예를 들면, 잔골재의 표면수율 오차가 1%라면, 이것에 의한 단위수량은 8~10 $\text{kg/m}^3$  정도의 오차가 발생한다. 또한, 굵은 골재에 대해서도 0.2~0.5% 정도의 오차가 발생하므로 이 양자의 합성이 이루어진다면, 큰 변동이나 오차가 발생한다. 게다가, 현재의 상태에서는 단기간에 경시적인 골재 입도의 변동에 동반하여 변동하는 슬럼프의 조정을 목적으로 한 단위수량의 수정을 리얼타임으로 행할



〈그림-6〉 잔골재 표면수율의 실측 값과 단위수량 계산 값과 설계 값 차의 관계



〈그림-7〉 잔골재 표면수율의 실측 값과 설정 값의 차와 단위수량 계산 값과 설계 값 차의 관계

수 있는 자동 계량 시스템은 없으며, 따라서 단위수량의 추정정도는 상당히 저하된다. 이 방법의 정밀도를 향상시키려면 표면수율 측정정도의 향상을 도모할 필요가 있고, 골재 입도 분리방지 및 안정화도도모할 필요가 있다. 현재의 기술수준에서 이 방법에 의한 단위수량 추정은 이용할 수 없다. 또한, 잔골재의 표면수율의 실측에 근거하고, 단위수량의 계산 값(인자 기록)과 설계치(목표치)와의 차이 및 잔골재 표면수율의 실측치와의 관계를 조사해본 바에 의하면, 잔골재의 표면수율의 실측 값과 계량 값(인자 기록)으로부터 계산한 단위수량의 추정치에 대해, 단위수량의 계산 값(인자 기록)과 설계 값(목표 값)과의 차이가 약 80%의 공장에서  $\pm 5\text{kg/m}^3$ 의 범위내에 있지만, 나머지의 20%에서는 대폭적인 차이가 나타나고 있다.(〈그림-6〉 참조)

또한, 〈그림-7〉에 의하면, 잔골재의 표면수율의 실측 값과 설정 값과의 차이의 관계에서는, 잔골재의 표면수율 1%당 단위수량  $5\text{kg/m}^3$ 의 결과로 나타나고, 표면수율의 실측 값과 설정 값의 차이가 0%여도, 단위수량의 계산 값(인자 기록)이, +15~-23

$\text{kg/m}^3$ 의 폭으로 변동하고 있어, 결코 추정 정밀도가 좋은 것으로는 볼 수 없다. 배합 보고서에 기재되어 있는 통상의 단위 잔골재량으로부터, 잔골재의 표면수율 1%당 물의 양은 계산상에서는 약  $9\text{kg/m}^3$ 인 것을 생각하면, 평균으로  $5\text{kg/m}^3$ 는 모순된 결과이며, 문헌(日本コンクリート工學協會, フレッシュコンクリートの單位水量および管理システム調査研究委員會報告書, 2006.4)에서는 자동 인자 기록으로부터 구해지는 단위수량은 골재의 표면수율안정 상태가 아닌 한, 정밀도 높게 추정하는 것은 곤란이라고 지적되고 있다. 예를 들어, 잔골재 표면수율의 측정 오차가 1% 있으면, 단위수량으로  $9\text{kg/m}^3$  전후의 오차가 생기고, 게다가 표면수율의 변동에 대응할 수 없으면, 그 차이도 단위수량의 변동이 되어 나타난다. 더욱 굵은 골재의 표면수율의 변동(통상은 고정 값으로 입력되고 있지만, 0.5%의 차이로 단위수량에 약  $5\text{kg/m}^3$ 의 차이가 생긴다)이 더해지면, 양자가 합산되어 보다 큰 오차가 된다. 따라서, 잔골재의 실측 표면수율과 계량 값(인자 기록)으로부터 단위수량의 추정 값을 구하는 방법에는 문제점이 많다는

〈표-2〉 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 신속측정방법의 종류

적용범위	측정방법	시료대상	시료량	측정시간	정밀도(kg/m <sup>3</sup> )	개 발 처
실 내	고주파가열법	Mortar	400g	15분	± 5	전국레미콘조합회 다케나키공무점
	가열건조로법	Concrete	0.5~1l	25분	± 5	(주)東横エルメス
	감압건조로법	Mortar	400g	25분	± 1.63	吉川産業(주)
	수증질량법	Concrete	2kg	15분	± 6.6	大成建設(주)
실 외	에어미터법	Concrete	7l	5분	± 6	丸東製作所(土研法)
					± 5	マルイ
	정전용량법	Mortar	2kg	10분	± 4	일본 케트과학(한국지사)
	물 농도법	Concrete	1l	20분	± 5~10	太平洋マテリアル
	염분 농도법	Concrete	2~7l	15분		(주)中研컨설턴트 외
중성자법(연속식)	Concrete	제한없음	5분	± 3~4	ソイルアンドロックエンジニアリング(주)	

것을 알 수 있다.

②의 방법은 시험에 많은 시간이 요하고 계측에서의 오차가 모두 수량으로 검출되므로 단위수량 추정에는 많은 오차를 동반하게 된다. 정도를 향상시키기 위해 시료량을 크게 하면 어느 정도 커버가 가능하지만 이 부분에 시간을 요구하므로 실용적이지 못하다.

따라서 고안된 방법이 ③의 방법이다. 측정할 수 있는 방법이나 장치가 많이 있고, 신속성의 점에서 ① 및 ②의 방법에 비해 우수하지만, 정도의 점에서 문제점이 없다고 말할 수 없다. 신속성의 측면에서 수분부터 수흡분이 소요되고 검사용과 관리용의 사용목적에 따라 선택할 필요가 있다.

## 나. 단위수량의 신속측정 방법의 종류

굳지 않은 콘크리트의 단위수량을 신속하게 측정할 수 있는 방법의 종류는 〈표-2〉에 나타난 바와 같이 여러 가지 시험방법이 제안되어 있다. 대별하면, 실내용과 실외용으로 나누어 볼 수 있고, 측정시료는 콘크리트 또는 몰탈로 나누어 볼 수 있고, 측정 원리로는 단위용적 질량법, 건조법, 농도법 외의 전기특성이나 중성자 등의 센서대체 특성을 이용하는 것이 있다. 측정정밀도는 대개 ± 10kg/m<sup>3</sup> 이하로

측정되며, 측정시간이 가장 짧은 것은 에어미터법과 중성자법이 약 5분 정도 소요된다. 한편, 일본 국토교통성의 레미콘 단위수량 측정요령(안)에 측정 정도가 ± 10kg/m<sup>3</sup> 이하로 측정가능하다고 생각되는 측정방법에 10종류에 대해 게재하였으며, 그의 내용은 〈표-3〉~〈표-5〉에 나타내었다.

## 다. 단위수량 변동에 미치는 영향인자

종래의 강도중심의 관리에서는 골재의 품질변동이 원인이 되어 단위수량이 변동하여도, 단위시멘트량을 충분히 안전측으로 설정하면 강도부족으로 불합격되지 않으므로 강도관리는 그렇게 곤란하게 되지 않았다. 그러나 단위수량관리를 한다면, 수량을 작게 하면 괜찮지만, 간단한 문제로 되지 않는다. 다시 말하면, 강도와 같은 방식으로 시멘트량의 증감에 의한 방식과 같이 간단하지 않고, 단위수량에 미치는 요인은 〈그림-8〉과 같이 상당히 많이 존재한다.

이중에서도 가장 영향이 큰 것은 골재의 품질이다. 일반적으로 단위수량을 절감하기 위한 기본은 입형이 좋은 양질의 골재를 사용하거나 감수성능이 좋은 혼화제를 사용하면 좋지만, 입형이 좋은 골재의 입수가 용이하지 않은 현상태에서는 곤란하고, 감수성능이 우수한 혼화제를 이용해도, 골재의 품질

〈표-3〉 측정정도가 ±10kg/m³ 이하라고 생각되는 측정방법(1)

명칭	1. 고주파 가열건조(전자레인지)법	2. 건조로법	3. 감압식가열건조법
측정 원리	콘크리트로부터 제거된 물탈을 전자레인지에서 가열 건조시켜, 질량의 감소량과 콘크리트의 단위수량의 상관성이 높은 것을 이용하여 콘크리트의 단위수량을 측정한다.	전용 건조로에 의해 콘크리트를 가열 건조하고, 증발량으로부터 단위수량을 추정한다.	물과 감압건조하면 약 50°C에서 비점에 도달하기 때문에, 시료는 낮은 온도에서 건조된다.
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : 사용 기계는 전자레인지, 저울, PC(표 계산 s/w)이고, 입수가 용이하다.</li> <li>• 단점 : 물탈 시험을 행하기 위해서는 습윤체가름을 동반한 오차를 보정해야 할 필요가 있다. 장시간 사용하면 전자레인지가 열화한다. 전원이 필요하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : 원리가 간단하고 신뢰도가 높다. 건조 후의 시료로부터 굵은 골재를 씻어내어 굵은 골재량을 측정(보정하는 것으로 고정도의 단위수량 추정이 가능)</li> <li>• 단점 : 측정시간이 길다. 사전에 1시간의 예열이 필요하다. 전원이 필요하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : 시료에 의한 영향이 작고, 조작성 계량·건조·계산을 모두 자동으로 행하기 때문에 측정자에 의한 시험오차가 발생하지 않는다.</li> <li>• 단점 : 측정시간이 길다. 전원이 필요하다.</li> </ul>
측정 방법	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 측정준비 : 종이접시의 건조질량을 사전에 측정해 둔다.</li> <li>② 시료채취 : 핸드삽 1삽 분량(1~1.5kg 정도)의 시료를 바이브레이터나 손가락을 사용하여 습윤체가름을 행한다.</li> <li>③ 건조 전 질량의 측정 : 물탈 시료를 종이접시 위에 400g 정도로 0.1g 단위까지 측정한다.</li> <li>④ 물탈 시료의 건조 : 전자레인지에 물탈 시료를 넣고, 4~5분간 정도 가열시킨다.</li> <li>⑤ 건조 후의 질량 : 건조후의 물탈 시료 질량을 0.1g 단위까지 측정한다.</li> <li>⑥ 단위수량 계산 : 측정 데이터를 표 계산 s/w에 입력하여 단위수량을 계산한다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 예열 : 사전에 건조로내에 온도를 상승시켜 놓는다.</li> <li>② 시료채취 : 시료를 1~2kg 채취하고, 질량을 측정한다.</li> <li>③ 건조 : 시료를 건조로에 넣고, 건조시킨다.</li> <li>④ 질량측정 : 건조 후의 시료 질량을 측정한다.</li> <li>⑤ 씻어내기 : 건조 후의 시료를 5mm 체위에 물로 씻어 굵은 골재량을 측정한다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 시료채취 : 굳지 않은 콘크리트로부터 습윤체가름 작업을 물탈분리기로 행하고, 물탈을 채취한다.</li> <li>② 건조 전 질량측정 : 물탈을 약 400g 시료를 접시에 넣어 측정기에 설치하고, 건조 전의 질량을 측정한다.</li> <li>③ 감압건조 : 배합을 선택 후 측정을 개시한다.</li> <li>④ 배합 값 입력 : 배합 값을 측정기에 입력한다.</li> <li>⑤ 결과표시 : 건조 종료 후 건조 후의 질량을 측정하고, 자동적으로 연산을 시켜 프린트 출력한다.</li> </ol>
시간	15분 정도	20~25분 정도	20~25분 정도
시료량	400g 정도의 물탈	1~2kg의 콘크리트	400g ± 30g의 물탈
필요 정보	잔골재 중의 수분량, 시멘트의 초기 수화량	배합표	배합(시방배합, 현장배합)
기타	竹中公務店の 방법, 全生連방법 등이 제안. 특별히 필요한 자격 등은 없음.		특별히 필요한 자격은 필요 없다.

변동이 단위수량의 증감 및 비용에 크게 관계 된다. 골재의 품질이 단위수량에 미치는 영향을 크게 다음 5가지의 항목으로 열거할 수 있다.

① 굵은 골재 입도분리를 동반한 변동

② 입도의 분리 및 과소립·과대립 등의 영향에 의한 굵은 골재 합성입도 분포 패턴의 변동

③ 입형판정 실적률의 변동

④ 잔골재 미립분량의 변동



〈표-4〉 측정정도가 ±10kg/m<sup>3</sup> 이하라고 생각되는 측정방법(2)

명칭	4. 수중질량법	5. 에어미터법(土研法)	6. 에어미터법(W-checker법)
측정 원리	콘크리트의 기중(공기중)질량과 수중질량 및 재료의 밀도로부터 콘크리트의 체적을 구하고, 단위수량을 측정한다.	단위수량이 증가하면 콘크리트의 단위용적 질량이 작게 된다. 이의 성질을 이용하여 단위용적 질량 차로부터 단위수량을 추정한다.	레미콘이 계획한 배합대로 인가를 단위용적 질량과 공기량의 관계로부터 구하고, 공기량의 측정값이 이론 값과 다른 경우에는 잔골재질량 계량 값에는 골재 이외의 수량이 포함되어 있는 것으로 하여, 이의 수량으로부터 단위수량과 물-시멘트비를 산출한다.
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : 습윤체가름을 하지 않고, 콘크리트로 측정 가능하다. 사전에 골재의 밀도 측정을 행하는 것으로 고정도의 추정이 가능하다.</li> <li>• 단점 : 작업 숙련을 요한다. 상수도가 필요하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : 공기량 측정시 질량을 측정하는 것만으로 단위수량을 추정한다. 무주수법으로 해도 주수법과 동등의 정도로 추정할 수 있다.</li> <li>• 단점 : 골재의 밀도를 정확하게 측정해 놓을 필요가 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : 레미콘의 수입검사시험으로 행해지는 공기량 측정시험과 거의 동등의 작업으로 측정이 가능. W-Checker(계량은 1g, 공기량은 0.1%의 측정 가능)을 이용하는 것으로 고정도 단위수량 측정이 가능</li> <li>• 단점 : 골재밀도를 정확하게 측정해 놓을 필요가 있다.</li> </ul>
측정 방법	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 미리 골재밀도 측정을 행한다.</li> <li>② 콘크리트를 샘플링해서 수중질량을 측정한다.</li> <li>③ 콘크리트 중의 기포를 제거하면서 수중질량을 측정한다.</li> <li>④ 굵은 골재만을 씻어내어, 굵은 골재를 측정한다.</li> <li>⑤ 계산에 의해 단위수량을 추정한다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 미리 에어미터의 용적, 질량을 측정해 둔다.</li> <li>② 에어미터를 이용하여 콘크리트 시료의 공기량을 측정한다.</li> <li>③ 에어미터마다 시료의 질량을 저울에 놓고 측정한다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 장치자체의 용량과 질량의 측정을 행하고, JIS A 1128에 준해서 공기량의 캘리브레이션을 행한다.</li> <li>② 골재수정계수와 시멘트 밀도를 측정하고, 배합계산서로부터 재료 밀도, 각 재료의 배합을 입력한다.</li> <li>③ 콘크리트시료를 에어미터에 넣어 질량을 측정한다.</li> <li>④ 에어미터의 공간부분에 물을 주입하고 질량을 측정한다.</li> <li>⑤ JIS A 1128에 준하여 공기량을 측정한다.</li> <li>⑥ 측정데이터를 입력하고, 단위수량을 산출한다.</li> </ol>
시간	15분	5분 정도	5분 정도
시료량	약 2kg의 콘크리트	7리터의 콘크리트	7리터의 콘크리트
필요 정보	기준 콘크리트 배합 각 재료의 밀도	계획배합	계획배합, 시멘트의 습윤밀도, 잔골재, 굵은골재의 표면밀도
기타	측정순서로서 굵은 골재를 씻어내기 때문에, 측정 종료 후의 장치의 세척작업 필요없고, 바로 다음 측정으로 진행한다.	전용 계산시스템(PDA)도 시판되어 있다.	콘크리트 시료를 그대로 사용하기 때문에 습윤체가름을 행하는 경우와 같은 샘플링 오차가 생기지 않는다.

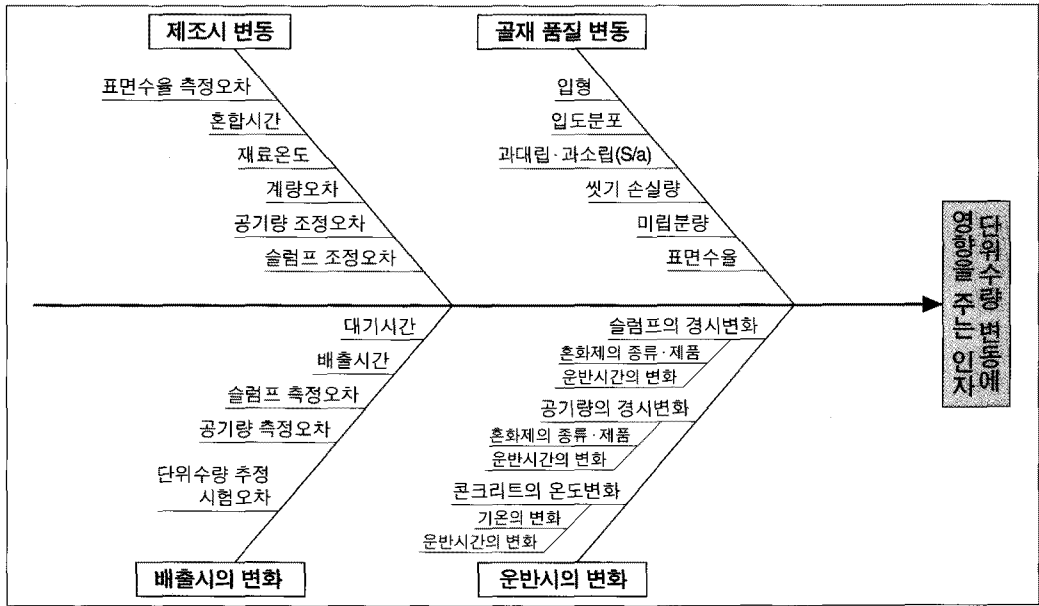
⑤ 표면수율의 변동

이중에서, 표면수율의 변동을 제외한 ①~④의 항목이 안정화되어 있다면, 목표 단위수량을 변화시킬 필요가 없기 때문에, 이의 변동을 자동 원격 계측하

는(물론 굵은 골재의 표면수율 측정장치는 실용화되어 있지 않음) 것으로 슬럼프를 안정화시키면 단위수량도 안정화된다. 그러나 ①~④의 항목이 변동하는 경우에는 목표 단위수량이 변동한다. 다시 말하

<표-5> 측정정도가 ±10kg/m³ 이하라고 생각되는 측정방법(3)

명칭	7. 정전용량법	8. 물농도 측정법	9. 염분농도차법
측정 원리	물질의 유전율이 수분량에 따라 변화하는 것을 응용. 몰탈 중의 정전용량과 수분률의 관계식을 미리 구해놓고, 기계로 몰탈 중의 정전용량을 측정, 단위수량을 추정.	일정 용적의 굳지 않은 콘크리트에 특수 알코올을 정량 첨가해, 물-알코올 혼합액의 물농도를 측정하여, 채취한 콘크리트 중의 수량을 구하고, 체적 환산에 의해 콘크리트 1m³당 단위수량을 구한다.	굳지 않은 콘크리트에 농도에 따라 식염수를 첨가(혼합할 때에 식염수 첨가 전과 식염수 첨가 후의 여액의 염분농도를 측정하고, 식염수가 콘크리트 속에 물에 의해 없어지는 원리를 이용하여 단위수량을 추정한다.
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : 2가지 전원 대응(AC 전원, 건전지) 가능, 126개의 측정데이터 기록, 프린터 출력 가능, 측정시에 특별한 기술은 필요 없음.</li> <li>• 단점 : 고정밀도를 보증하기 위해서는 사전에 검량선을 체크하고 수정이 필요하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : 콘크리트 그 자체임으로, 시료조정이 불필요. 사전 정보(콘크리트의 배합, 골재 비중, 흡수율 등)가 필요 없음. 측정값을 환산표에 의해 단위수량을 구하고(PC가 필요 없음) 외부 전원을 필요로 하지 않는다. 현장에서 간이측정할 수 있다.</li> <li>• 단점 : 샘플링시 시료의 편차영향</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 장점 : 소형(고정밀도의 전량적정식 염분농도계를 이용하기 때문에 전원없이 측정 및 출력. 배합 정보가 없는 경우에도 개략 값을 구함. 공기량, 단위시멘트량, 골재량, 골재흡수율을 알면, 추정정도가 향상.</li> <li>• 단점 : 샘플링에 주의 필요. 소량 여액에 의해 염분을 측정함의 주의 필요.</li> </ul>
측정 방법	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 배합 데이터의 입력</li> <li>② 레미콘의 채취</li> <li>③ 습윤체가름으로 몰탈을 추출</li> <li>④ 시료용기에 몰탈을 충전</li> <li>⑤ 시료용기의 질량을 측정하고, 기기에 입력한다.</li> <li>⑥ 레미콘의 공기량을 기계에 입력</li> <li>⑦ 시료용기를 기계에 셋팅하고, 측정을 행한다.(약 7초)</li> <li>⑧ ⑤~⑦의 절차를 시료용기 3개분에 대해 반복하여 평균값을 계산한다.</li> </ol> <p>※ 시료용기 3개 편차는 ±1.0kg/m³</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 전용시료 채취용기에 콘크리트를 채취.</li> <li>② 전용 추출용기에 특수 알코올을 500ml 넣어 시료 채취용기를 셋팅, 2분간 흔들어서 시료 중의 물을 특수 알코올로 추출.</li> <li>③ 시료 채취용기를 제거하고, 채취용기에 여과지를 세팅하여, 추출액을 여과시킨다.</li> <li>④ 여과 추출액을 전용 시린지로 채취, 반응관 안에 넣어 반응관에 고무마개를 삽입.</li> <li>⑤ 반응관을 구부려 반응관 중의 시약 앰플을 나누고, 반응관 1분간 흔들어 시약과 반응시킴.</li> <li>⑥ 반응 후 3분간 정치, 압력계로 발생가스압력 측정. 환산표 이용 단위수량 구함.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 사전 첨가한 식염수 염분농도를 측정해둬.</li> <li>② 식염수 농도, 배합정보를 PC에 입력해둬.</li> <li>③ 용기에 콘크리트를 다짐봉 등으로 채움.</li> <li>④ 용기 표면을 스테인레스엣지로 수평하게 함.</li> <li>⑤ 점속상자를 부착, 식염수를 계량·첨가, 혼합용기를 닫는다.</li> <li>⑥ 식염수와 콘크리트를 교반 혼합한다. 혼합용기의 상하역전을 반복, 혼합기로 수평 회전 2분간 정도 교반 혼합한다.</li> <li>⑦ 식염수 혼합 전·후의 콘크리트로부터 여액 채취기에 의해 여액을 채취, 염분농도 측정.</li> <li>⑧ 측정종료 후 측정 값을 입력, 단위수량 산출.</li> </ol>
시간	10분	15~20분 정도	약 15분 정도
시료량	몰탈량 약 2kg	0.5리터의 콘크리트	1.5리터의 콘크리트
필요 정보	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 단위량</li> <li>② 표건 밀도</li> <li>③ 흡수율(잔·굵은골재)</li> <li>④ 시료질량</li> <li>⑤ 공기량</li> </ol>	없음	계획 배합(시멘트 종류·양, 잔·굵은골재량), 잔·굵은골재 흡수율, 공기량
기타	JR 동일본(토목공사표준시방서), JR 동해, JR 서일본 등에서 현장측정 실시		



〈그림-8〉 단위수량에 영향을 미치는 인자

면, 단위수량 변화에 대응해서 배합을 변경하지 않으면 안되기 때문에, 변화하는 상태에 맞추어 배합의 보정도 연동시키지 않으면 도움이 되지 않는다. 역으로 ①~④의 항목이 안정화되어 있다면 슬럼프를 맞춘다면 표면수율을 몰라도 단위수량은 변동하지 않게 된다.

단위수량에 미치는 영향인자 중에서 골재특성 이외에 큰 영향을 미치는 인자로서는 콘크리트의 온도, 운반시간이 있다.

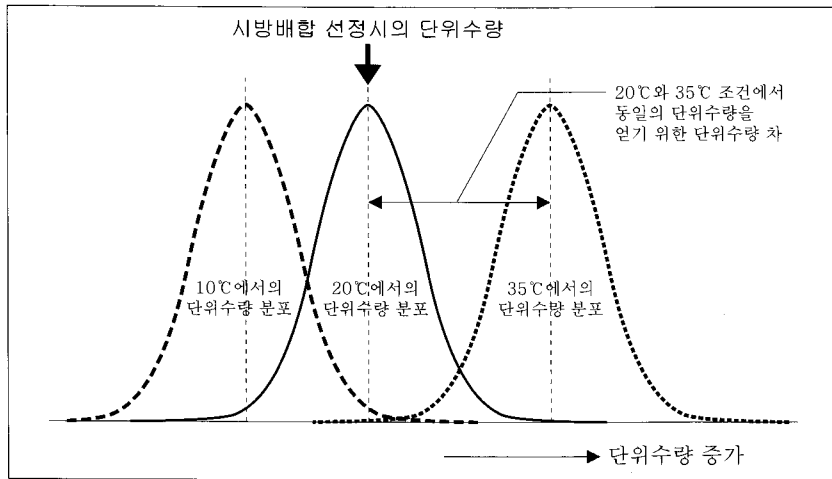
〈그림-9〉는 시험비법에서 목표로 하는 단위수량과 제조시의 온도 등에 의해 변화는 단위수량을 개념적으로 나타낸 것이다. 콘크리트의 온도는 크게 보면 계절별로 주기적으로 변동하는 것이지만, 〈그림-10〉에 나타낸 바와 같이 여름철(콘크리트 온도가 30℃ 정도 초과한다고 볼 수 있는 케이스)과 겨울철(콘크리트의 온도가 10℃ 정도)에서 동일한 슬럼프 및 강도의 배합이라도 단위수량이 13kg/m<sup>3</sup> 정도 차이가 발생한다. 이러한 것로부터 생각해 보면 배합 계획 값은 여름철 및 겨울철 모두 목표 값이 한계 값을 초과하지 않도록 할 필요가 있지만, 여름

철만 골재를 양질의 것으로 대체하는 대응책은 채택하기 어렵고, 모든 골재를 입형관정 실적률이 좋은 것으로 하든지, 여름철에는 보다 감수율이 높은 고성능 혼화제를 사용해서 고온시의 단위수량의 역제를 도모하게 된다. 아이스쿨링을 이용해서 저온으로 하는 방법도 생각해 볼 수 있지만, 비용측면에서 초고강도와 같은 부가가치가 높은 콘크리트 이외에는 실용화가 낮은 것으로 볼 수 있다.

마지막으로 운반시간에 대해서는 케이스 바이 케이스이기 때문에 공장에서 경험적인 대응을 하는 것 이외에는 대책이 없지만, 이것도 콘크리트 온도의 영향을 받으므로 계절별로 충분히 대응할 필요가 있다.

### 라. 단위수량 관리

마지막으로 단위수량관리에 대하여 기술한다. 〈그림-11〉에는 단위수량 관리 플로우를 나타내었다. 레미콘 공장에서 모든 재료의 특성치 변동을 실태 파악, 이의 실적에 근거로 문제점의 해결책, 단위수량을 포함한 배합 및 단위수량 관리 폭의 설정, 더욱



〈그림-9〉 콘크리트 제조시 온도와 단위수량의 변화, 혼합시의 목표 단위수량

이 효과의 확인을 행하고, 부적절한 경우는 PDCA 사이클을 행한다. 단위수량의 목표 값을 낮추던지 변동폭의 저감에 있어서는 실패파악이 가장 중요하고, 이의 결과로서 대응책의 선택이 행해지게 된다.

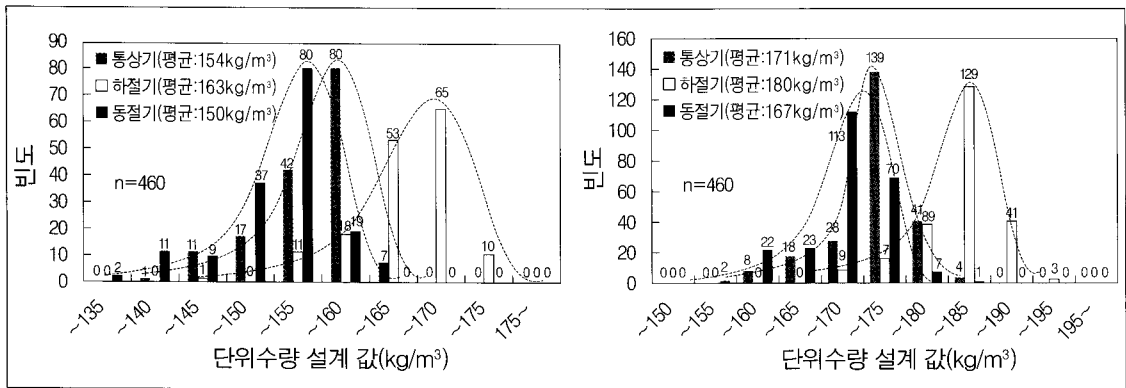
(1) 단위수량 목표 값의 설정

(가) 골재 입도 변동의 파악

골재는 이동에 따라 입도분리가 상당히 발생하기 쉽다. 따라서 레미콘 공장에서 이의 실패를 파악하는 것이 중요하다.

(나) 콘크리트 온도와 단위수량의 관계

단위수량은 콘크리트의 온도에 따라 변한다. 이의

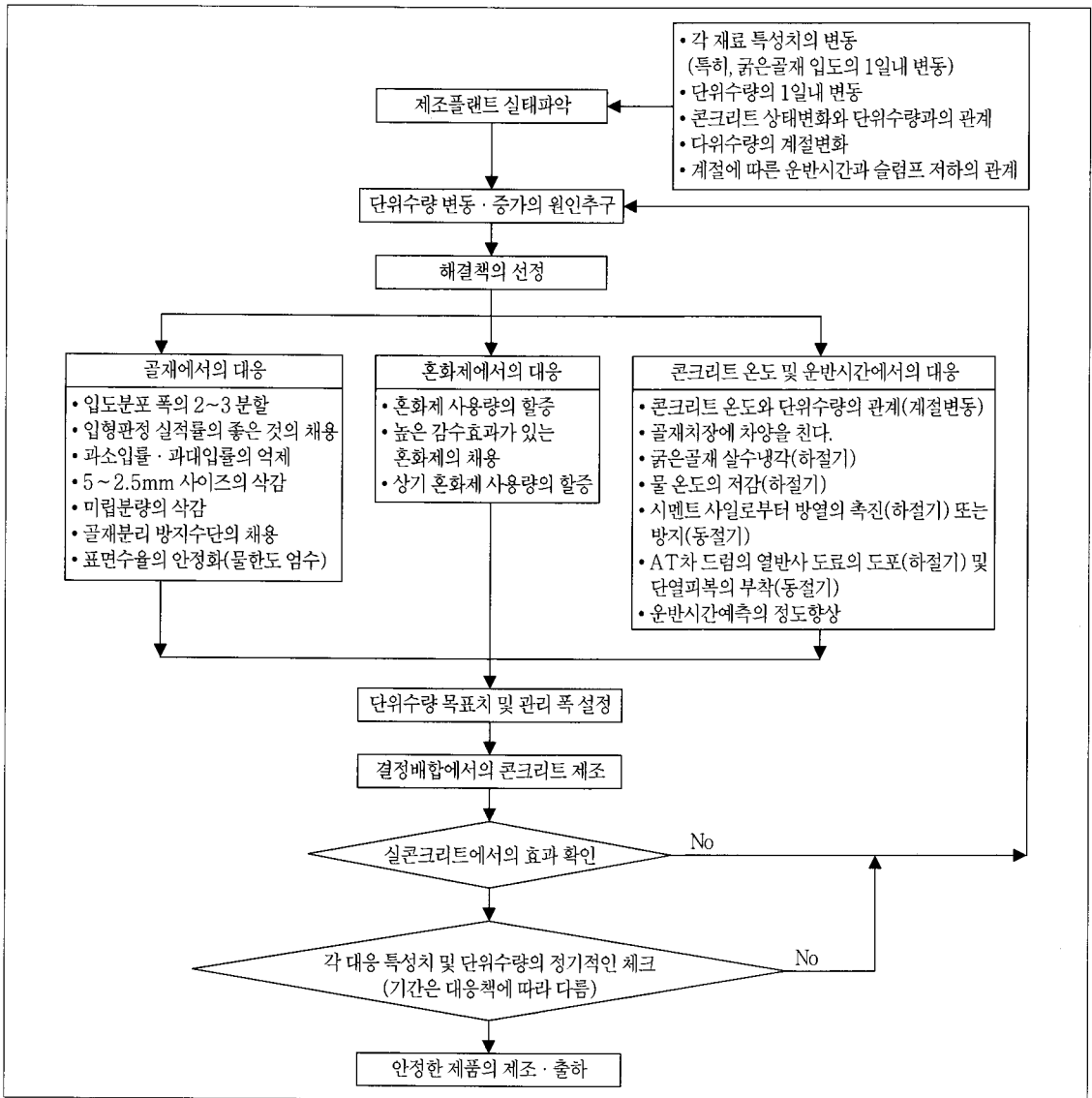


(a) 슬럼프 80mm 인 경우

(b) 슬럼프 180mm 인 경우

구 분	슬럼프 80mm			슬럼프 180mm		
	동절기	통상기	하절기	동절기	통상기	하절기
단위수량	150kg/m <sup>3</sup>	154kg/m <sup>3</sup>	163kg/m <sup>3</sup>	167kg/m <sup>3</sup>	171kg/m <sup>3</sup>	180kg/m <sup>3</sup>
통상기 기준	-4(2.5%)	0	+9(5.8%)	-4(2.3%)	0	+9(5.3%)

〈그림-10〉 계절에 따른 단위수량 설계 값의 변화



〈그림-11〉 단위수량 관리 플로우

온도는 시멘트온도, 골재온도, 물 등의 재료온도 및 운반시간 등에 의해 좌우된다. 더욱이 재료의 온도 중에서 시멘트온도를 제외한 기온의 영향이 현저하다. 일반적으로 혼합 직후 콘크리트온도는 직전의 주간 평균온도 +5℃ 전후로 보여진다.

통상의 배합설계를 위한 시험비법은 실제 출하되는 시기의 하차지점의 콘크리트온도를 예측해서 그

온도가 되도록 재료온도를 조정해서 실시하는 것은 거의 이루어지고 있지 않다. 이때문에 시험비법의 콘크리트온도와 출하시기의 콘크리트온도와의 차이가 있으면 단위수량의 증감이 생기게 된다. 미리, 연간 콘크리트의 온도와 단위수량과의 관계를 파악하여 이것을 근거로 한 시험배합을 보정할 필요가 있다. 또한 콘크리트온도와 배합의 관계를 계절에 관

계없이 조사할 목적으로 같은 날에 고온부터 저온까지의 콘크리트에 대해 시험비법을 행하여 조사해 놓을 필요가 있다.

(다) 운반시간에 의한 슬럼프의 변화를 동반한 단위수량의 보정

운반시간에 의한 슬럼프의 저하는 배합, 혼화제의 종류, 콘크리트온도, 아지데이터 트럭의 적재량, 기상조건에 따라 다르므로, 이의 보정도 필요하다. 그러나 상당히 복잡한 요소에 근거로 하고 있으므로 명확한 수치 보정은 용이하지 않지만, 일반적으로 운반시간이 1시간 정도까지 있다면 기온이 높은 경우에 2~4cm 정도 슬럼프 저하가 보여지므로 이에 맞춘 단위수량 보정이 필요하다.

기준 및 단위수량 측정방법의 종류 및 단위수량 관리를 위한 플로우에 대하여 기술하였다.

레미콘의 품질관리는 이제 압축강도관리 중심으로서 내구성관리 중심으로의 전환할 시대가 국내에도 도래하고 있고, 이를 위한 준비가 각 분야에서 연구가 진행중에 있다. 국내에 단위수량 관리기준을 도입하기 위해 가장 시급히 해결해야 할 과제는 단위수량 한도설정이 콘크리트 표준시방서에 규정할 필요가 있고, 단위수량 관리를 위한 현재까지 개발된 군지 않은 콘크리트의 단위수량 신속측정 방법별 측정정밀도 규명해야 하고 그리고, 레미콘 공장을 대상으로 한 단위수량 관리 실태파악도 이루어져야 할 것이다. 레미콘의 단위수량 관리는 현재 종종 발생하는 불량 레미콘의 품질문제를 해결할 수 있고, 고품질의 레미콘 제조 및 적용이 가능하게 될 것으로 판단된다. ▲

## 5. 맺음말

이상으로부터 단위수량 한도설정, 단위수량 관리

## 시사 용어 해설

### ▶ 고객분석(Customer Analysis)

전략수립을 위한 상황분석의 핵심부분은 제품구매 당사자인 고객을 분석하는 일이다. 따라서 고객분석은 고객의 구매행위에 대해 시장 특성, 구매의사 결정 형태, 구매의사 결정에의 참여자, 구매의사 결정에 영향을 주는 요인, 구매과정 등을 분석하는 일이다. 따라서 고객분석은 고객의 구매행위에 대해 시장특성, 구매의사 결정 형태, 구매의사 결정에의 참여자, 구매의사 결정에 영향을 주는 요인, 구매과정 등을 분석하는 것이다. 고객분석의 주요목적으로는 표적시장의 결정, 투자 수준의 결정, 지속적 경쟁우위의 개발 등을 들 수 있다. 고객분석의 주요 내용은 크게 세가지로 나누어지는데 첫째는 고객의 세분화이다. 세분화는 전체시장을 일정한 기준에 의해 분류하는 것으로 기업의 입장에서 가장 적합한 세분시장을 정의하고 표적시장을 선정함으로써 구매자, 사용자, 잠재고객 등을 정확히 파악하는 것이다. 둘째는 고객의 구매동기 파악으로 제품이나 서비스의 구매동기, 중요시하는 제품의 특성, 고객이 추구하는 목적, 구매동기의 변화가능성 등을 알아내는 것이다. 셋째는 충족되지 않은 고객의 욕구로 고객의 제품만족도, 제품사용시의 문제점, 아직 인식하지는 못했으나 잠재적으로 지니고 있는 욕구를 파악하는 것이다.