

레디믹스트 콘크리트의 配合設計를 위한 컴퓨터의 이용에 관한 研究

Computer Application in Mix Design of Ready Mixed Concrete

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

Abstract

The properties of ready mixed concrete are affected largely by quality of cement, grading and adhesive surface area water content of aggregate. The amount of variation must be found as soon as possible to minimize the variation of concrete properties.

In this paper, a computer program is presented for fast and accurate calculation and modification of mix proportion according to property variation of concrete materials. The program calculates specified mix proportion, job mix proportion and batch weight of ready mixed concrete.

요 지

레디믹스트 콘크리트의 품질은 시멘트의 품질, 골재의 입도 및 표면수 등과 같은 사용재료의 변화에 의하여 크게 변화하므로, 사용재료의 변화상태를 신속히 파악하여 배합계산에 반영함으로써 품질변화를 최대한 방지해야 한다.

본 논문에서는 레디믹스트 콘크리트의 배합계산에 컴퓨터를 사용함으로써 재료의 변화상태에 따른 배합수정을 정확하고 신속하게 처리하여 시방배합, 현장배합 및 배치량을 계산할 수 있는 프로그램을 작성하였다.

점이 특성이라고 하겠다.

1. 서 론

레디믹스트 콘크리트는 공사현장에서 믹싱한 콘크리트와는 달리 제조설비를 갖춘 공장에서 주문자가 요구하는 품질의 콘크리트를 특수운반차를 사용하여 현장까지 배달 공급하기 때문에 품질에 대한 신뢰도가 매우 크며, 중요시 되는

그러나 레미콘의 품질은 운반차의 성능, 수송 시간에 따라 변화하는 문제점^(1,2)이 있을 뿐만 아니라 시멘트의 품질, 골재의 입도 및 표면수량 등과 같은 사용재료의 변화에 따라서도 품질변화가 크게 나타나며^(3,4), 이들 품질변화에 영향을 미치는 요인들을 신속히 파악하여 레미콘의 배합설계에 반영함으로써 레미콘의 품질변화를 최대한으로 감소시켜 주어야 할 필요가 있다. 그런데 현재와 같은 우리나라 레미콘 공장의 관

*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

리체제로서는 사용재료의 변화상태를 확인했다고 하더라도 변화요인들을 신속히 처리하여 주문자가 요구하는 소의 품질의 레미콘을 생산하기가 그리 쉽지 않다고 생각된다. 그러므로 시시각각으로 변화하는 재료의 변화상태를 파악 레미콘을 제조하기 위한 수단으로 배합설계 계산에 컴퓨터의 이용이 절실히 요망된다.

본 논문에서는 콘크리트의 강도에 관한 시방서의 품질규정을 비교 고찰하였으며, 레미콘의 배합계산에 컴퓨터를 이용하기 위하여 배합설계시 고려해야 할 사항 중에서 물시멘트비, 단위수량 및 단위골재량을 구하는 방법을 회귀식에 의하여 수식화함으로써 프로그램 작성을 위한 자료로 이용하며, 시방배합을 현장배합으로 수정할 수 있는 프로그램을 작성하였다.

2. 콘크리트의 強度에 대한 品質規定에 관한 고찰

콘크리트의 강도를 건설부의 콘크리트 표준시방서에서는 設計基準強度 및 配合強度로 구분하며, 한국공업규격(KS F 4009) 레디믹스 콘크리트에서는 설계기준강도에 해당하는 강도를 운용상의 번잡을 피하기 위하여 일반적으로 呼稱強度라고 부른다. 그리고 대한건축학회의 건축공사표준시방서에서는 설계기준강도 또는 指定強度 등의 용어를 사용하고 있다.

2-1. 한국공업규격의 강도규정

한국공업규격에 의하면 레미콘의 강도는 규정한 강도시험결과 다음 규정을 만족시켜야 한다.

- (1) 1회의 시험결과는 구입자가 지정한 호칭 강도치의 85% 이상이어야 한다.
- (2) 3회의 시험결과의 평균치는 구입자가 지정하는 호칭강도의 값 이상이어야 한다.

위의 (2)조건을 만족시키기 위하여는 그림 1의 정규분포곡선에서 나타낸 바와 같이 호칭강도 이하로 되는 비율이 4% 이하라야 함을 알 수 있다.

콘크리트의 강도는 시멘트, 골재 등과 같은 재료의 품질 및 재료의 계량오차, 비비기, 시공, 양생상태 등에 따라 변동하기 쉬우며, 또한 구조물 설계시 기준으로 정한 설계기준강도 이하로 되는 경우가 발생할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 안전율을 고려하여 설계기준강도보

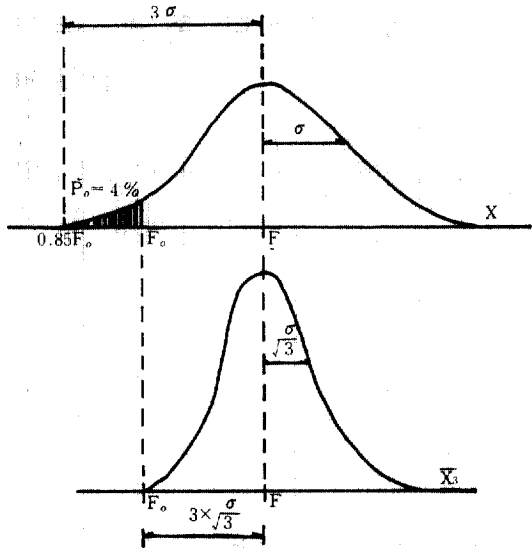


그림 1. 레디믹스 콘크리트 강도의 정규분포곡선

다 큰 배합강도를 콘크리트의 배합설계에 적용한다.

위의 두 조건을 만족시키는 배합강도는 다음 식으로 구할 수 있다.

조건(1)의 경우

$$F \geq 0.85F_0 + 3\sigma \quad \text{또는} \quad F \geq \frac{0.85F_0}{1 - 3V/100} \quad (1)$$

조건(2)의 경우

$$F \geq F_0 + \frac{3\sigma}{\sqrt{3}} \quad \text{또는} \quad F \geq \frac{F_0}{1 - 3V/100\sqrt{3}} \quad (2)$$

여기서, F : 배합강도(kg/cm²)

F_0 : 호칭강도(kg/cm²)

σ : 표준편차(kg/cm²)

V : 변동계수($\frac{\sigma}{F} \times 100$) (%)

위의 식(1)과 식(2)를 계산하여 비교해 보면 레미콘 강도의 변동계수가 10% 이하에서는 (2)의 조건, 10%를 넘으면 (1)의 조건에 의해 배합강도를 정해해야 함을 알 수 있다.

2-2. 콘크리트 표준시방서의 강도규정

건설부의 콘크리트 표준시방서에서는 콘크리트의 강도에 대하여 다음과 같은 규정을 정하고 있다.

- (1) 시험치가 설계기준강도의 80% 이하로 되는 일이 P_0 이상의 확률로 일어나서는 안된다.
- (2) 시험치가 설계기준강도 이하로 되는 일이

P_0 이상의 확률로 일어나서는 안된다.

여기서 P_0 및 P_0 는 일반적인 경우는 각각 1/20 및 1/4로 하고, 특별히 중요한 구조물에 대해서는 이 확률을 더 작게 해야 한다.

이 두 규정을 수식화하면 식(3) 및 식(4)로 나타낼 수 있으므로 변동계수가 18% 이하인 경우는 식(4), 변동계수가 18% 이상인 경우에는 식(3)에 의해 정해짐을 알 수 있다.

조건(1)의 경우

$$F \geq 0.8\sigma_{ck} + 1.645\sigma \quad \text{또는} \quad F \geq \frac{0.8\sigma_{ck}}{1 - 1.645V/100} \quad (3)$$

조건(2)의 경우

$$F \geq \sigma_{ck} + 0.675\sigma \quad \text{또는} \quad F \geq \frac{F_0}{1 - 0.675V/100} \quad (4)$$

여기서, σ_{ck} : 설계기준강도(kg/cm²)

2-3. 건축공사 표준시방서의 강도규정

건축공사표준시방서의 강도규정을 살펴보면 콘크리트의 강도는 품질의 등급에 따라 다음 식을 만족해야 한다고 규정하고 있다.

(1) 콘크리트의 품질이 '고급'일 때

$$F \geq \sigma_{ck} + T + 1.64\sigma \quad (5)$$

$$F \geq 0.8(\sigma_{ck} + T) + 3\sigma \quad (6)$$

(2) 콘크리트의 품질이 '보통'일 때

$$F \geq \sigma_{ck} + T + \sigma \quad (7)$$

$$F \geq 0.7(\sigma_{ck} + T) + 3\sigma \quad (8)$$

여기서, T : 콘크리트를 타설한 후 28일 동안의 예상평균기온에 의한 콘크리트 강도의 보정값(kg/cm²)

위의 식(5), (6), (7) 및 (8)을 달리 표현하면 각각 다음과 같다.

$$F \geq \frac{\sigma_{ck} + T}{1 - 1.64V/100} \quad (5)'$$

$$F \geq \frac{0.8(\sigma_{ck} + T)}{1 - 3V/100} \quad (6)'$$

$$F \geq \frac{\sigma_{ck} + T}{1 - V/100} \quad (7)'$$

$$F \geq \frac{0.7(\sigma_{ck} + T)}{1 - 3V/100} \quad (8)'$$

식(5) 및 (7)은 그림-2에 나타낸 바와 같이 설계기준강도(또는 지정강도) 이하로 되는 비율이 각각 5%와 16% 이하라야 함을 알 수 있으며, 식(6) 및 (8)은 콘크리트의 품질이 고급일

때와 보통일 때 각각 설계기준강도의 80% 이상과 70% 이상이라야 함을 나타내고 있다.

이상에서 한국공업규격, 콘크리트 표준시방서 및 건축공사 표준시방서에서 정하고 있는 콘크리트의 강도에 관한 품질규정에 대하여 검토해 본 바와 같이 한국공업규격의 규정은 限界値로서 나타내며, 건설부의 콘크리트 표준시방서의 규정은 確率値로서 나타내고 있다. 한편, 대한건축학회에서는 限界値와 確率値 두가지로 표현함을 알 수 있다.

콘크리트의 강도에 관한 제 규정에 따라 변동계수와 증가계수와와의 관계로 정리한 것이 그림-3

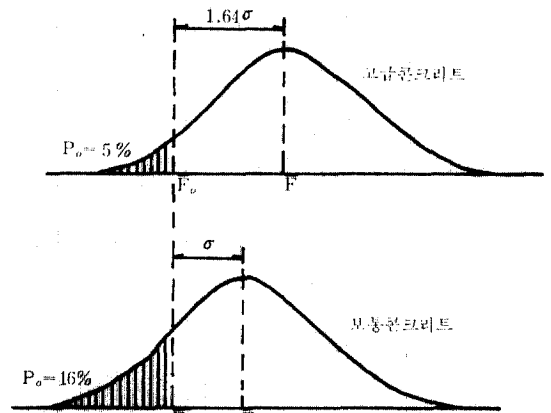


그림 2. 콘크리트 강도의 정규분포곡선 (대한건축학회)

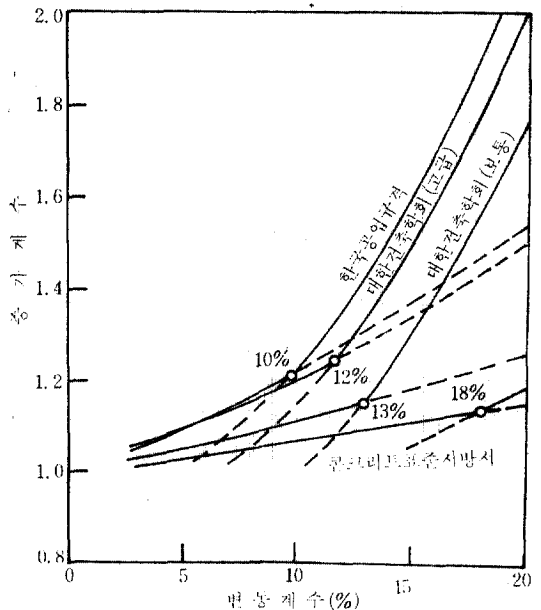


그림 3. 변동계수와 증가계수값과의 관계

이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 한국공업규격에서 정하고 있는 규정 즉, 배합강도를 구하기 위한 증가계수값이 건설부나 대한건축학회의 규정에 의한 증가계수값보다 크다. 다시 말해서 콘크리트 표준시방서나 건축공사 표준시방서에 의해 콘크리트의 품질을 평가할 경우, 한국공업규격의 레미콘의 배합설계방법으로 단위시멘트량을 결정하면 콘크리트 표준시방서나 건축공사 표준시방서보다 증가계수를 크게 취함으로써 非經濟인 배합설계가 된다. 그러므로 토목에서는 변동계수가 10% 이하 및 10~18% 인 경우, 한국공업규격과 콘크리트 표준시방서의 배합설계방법중의 각각 식(2)와 (4) 및 식(1)과 (4)와의 관계에서 증가계수의 비(1 이하의 값)를 구하여 이 값에 설계기준강도를 곱하여 레미콘 발주시 호칭강도로 지정해 주면 경제적인 소요의 품질의 콘크리트를 얻을 수 있겠다.

3. 레미믹스트 콘크리트 配合設計時 고려해야 할 사항에 대한 고찰

3-1. 물시멘트비의 결정

물시멘트비는 소요의 강도와 내구성을 고려하여 정해야 하며, 수밀을 요하는 구조물에서는 수밀성에 대해서도 고려하여야 한다고 콘크리트 표준시방서에 정하고 있다. 콘크리트의 압축강도를 기준으로 해서 물시멘트비를 정할 경우 압축강도와 물시멘트비와의 관계는 시험에 의하여 정하는 것을 원칙으로 하고 있으나 시험을 하지 못할 경우 다음 식으로 물시멘트비를 구한다.

$$\sigma_{28} = -210 + 215 \cdot \frac{C}{W} \quad (9)$$

이 식은 품질관리가 만족스럽지 못한 곳에서 시험결과까지를 포함하여 거의 최저선을 나타낸 것이기 때문에 소규모의 공사에는 적용하지 않는 것이 바람직할 것이다.

한편, 건축분야에서는 일본이나 우리나라에서 다같이 콘크리트의 물시멘트비를 구하기 위하여 식(10)을 주로 많이 사용하고 있으며, 대부분의 레미콘 공장들도 이 식에 의해 물시멘트비를 결정하고 있는 실정이다.

$$\frac{W}{C} = \frac{61}{F/K + 0.34} (\%) \quad (10)$$

여기서, F : 배합강도(kg/cm^2)

K : 시멘트의 강도(kg/cm^2)

식(10)에서 시멘트 강도를 결정하는 시험방법이 일본의 규격과 한국공업규격의 규정이 다를 뿐만 아니라, 한국공업규격이 1982년 개정되었기 때문에 동일 시멘트일지라도 시멘트의 강도에 차이가 생기게 되므로 시멘트의 강도를 결정하는 방법의 확립 내지는 통일된 다음 콘크리트의 물시멘트비를 정해야만 합리적인 결과를 얻을 수 있다고 생각된다.

미국콘크리트학회의 경우에는 물시멘트비를 표-1⁽⁶⁾에서와 같이 콘크리트의 압축강도에 따라 구하도록 제안하고 있으며, 이들을 압축강도와 시멘트물비와의 관계로 나타내면 식(11) 및 (12)와 같다.

표 1. 콘크리트의 물시멘트비와 압축강도와의 관계

압축강도 (28일, kg/cm^2)	물시멘트비	
	plain 콘크리트	AE 콘크리트
450	0.38	—
400	0.43	—
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

AE제를 사용하지 않은 콘크리트의 경우

$$(1) F = -107 + 216 \cdot \frac{C}{W} \quad (R^2: 0.99) \quad (11)$$

AE제를 사용한 콘크리트의 경우

$$(1) F = -102 + 183 \cdot \frac{C}{W} \quad (R^2: 0.995) \quad (12)$$

위의 식에서 R^2 의 값은 회귀식의 결정계수로서 총변동을 설명하는데 있어서 회귀선에 의해 설명되는 변동이 기여하는 비율을 말한다. 식(11)과 (12)는 레미콘의 배합설계를 위한 컴퓨터 프로그램 작성시의 참고자료로 사용하고자 한다.

3-2. 단위수량의 결정

콘크리트표준시방서에 의하면 단위수량은 작업이 가능한 범위내에서 될 수 있는대로 적게 되도록 시험에 의하여 정하도록 규정하고 있으며 단위수량의 대략의 표준은 표-2와 같다⁽⁶⁾.

표 2. 콘크리트의 배합설계를 위한 단위수량 및 잔골재율의 대략값

굵은 골재의 최대치수 (mm)	AE제를 사용하지 않은 콘크리트			AE 콘 크 리 트				
	간헐 공기 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m³)	공기량 (%)	양질의 AE제를 사용 할 경우		양질의 감수제를 알맞 게 사용할 경우	
					잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m³)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m³)
15	2.5(2.5)	49(48)	190(192)	7.0(6.6)	46(45)	170(172)	47(46)	160(163)
19	2.0(2.1)	45(45)	185(184)	6.0(6.0)	42(42)	165(164)	43(43)	155(154)
25	1.5(1.6)	41(42)	175(175)	5.0(5.4)	37(38)	155(155)	38(39)	145(145)
40	1.2(1.1)	36(36)	165(161)	4.5(4.5)	33(33)	145(141)	34(34)	135(131)
50	1.0(0.9)	33(34)	155(155)	4.0(4.1)	30(31)	135(135)	31(32)	125(125)
80	0.5(0.6)	31(30)	140(142)	3.5(3.4)	28(27)	120(122)	29(28)	110(112)

주 1. 물시멘트비 55%, 슬럼프 8cm 정도, 모래의 조립률 2.80 정도

주 2. ()내의 값은 회귀식에 의해 계산한 값

표 3. 콘크리트 배합의 보정표

구 분	S/a(%)의 보정	W(kg)의 보정
모래의 조립률이 0.1만큼 클(작을)때마다 슬럼프값이 1cm 만큼 클(작을)때마다 공기량이 1% 만큼 클(작을)때마다 부순돌을 사용할 경우 바순모래를 사용할 경우 물시멘트비가 5% 만큼 클(작을)때마다 ^(7,8)	0.5만큼 크게(작게) 한다 보정하지 않는다 0.5~1 만큼 작게(크게)한다 3~5 만큼 크게 한다 2~3 만큼 작게 한다 1 만큼 크게(작게)한다	보정하지 않는다 1.2% 만큼 크게(작게)한다 3% 만큼 작게(크게)한다 9~15 만큼 크게 한다 6~9 만큼 크게 한다 보정하지 않는다

이때 사용재료 또는 콘크리트의 품질이 표-2의 조건과 다를 경우에는 다음의 표-3에 따라 보정해 주어야 한다.

표-2와 표-3을 컴퓨터 프로그램 작성시 사용하기 위하여 아래식으로 바꾸어 표현하여 SPSS 프로그램을 이용 계산하였다. 먼저 굵은골재의 최대치수(G_{max})와 단위수량(W)과의 관계를 $W = a \times G_{max}^b$ 의 지수형으로 나타내면 다음과 같다.

(1) AE제를 사용하지 않은 콘크리트

$$W = 313.7 / G_{max}^{0.181} (R^2 : 0.99) \quad (13)$$

(2) 양질의 AE제를 사용한 콘크리트

$$W = 301.2 / G_{max}^{0.206} (R^2 : 0.98) \quad (14)$$

(3) 양질의 감수제를 사용한 AE콘크리트

$$W = 295.8 / G_{max}^{0.221} (R^2 : 0.98) \quad (15)$$

표-3의 보정표의 내용 이외에 콘크리트의 온도의 변화에 따라 슬럼프값이 변화하므로 온도에 따른 단위수량의 보정이 필요하다. 콘크리트의 온도와 단위수량과의 관계에 대해서 미개척국⁽⁷⁾에 의하면 동일 반죽질기를 얻기 위하여 온도 10°C 변화에 따른 단위수량은 7kg이 변화한

다고 하며, 일본시멘트 기술협회 보고서⁽⁹⁾에 의하면 20°C와 30°C일 때 단위수량을 비교하면 시멘트의 종류에 따라 3~6kg 정도 차이가 있다고 한다. 山田⁽¹⁰⁾의 경우에도 4~7kg 정도로서 거의 유사한 결과임을 알 수 있으며, 분산제를 사용한 武田의 연구⁽¹¹⁾에서도 온도변화에 따라 단위수량이 7kg 정도 차이가 있었다고 한다. 이상의 결과에서 콘크리트의 온도 10°C 변화하는데 따라 동일 반죽질기를 얻기 위하여 필요로 하는 단위수량이 평균 약 5kg 정도 차이가 있음을 알 수 있다.

앞의 표-2의 시험배합표는 표준실내온도 23°C에서 실시한 자료이므로 표-3의 콘크리트의 배합보정표에다 온도변화에 따른 요인을 추가하여 식으로 표현해 보면 다음과 같다.

$$W = \frac{313.7}{G_{max}^{0.181}} \{1 + (SL-8) \times 0.012\} + 7.5 \times S + 12 \times G + (T-23) \times 0.5 \quad (13)'$$

$$W = \frac{301.2}{G_{max}^{0.206}} \{1 + (SL-8) \times 0.012\} + 7.5 \times S + 12 \times G + (T-23) \times 0.5 \quad (14)'$$

$$W = \frac{295.8}{G_{max}^{0.221}} \{1 + (SL-8) \times 0.012\} + 7.5 \\ \times S + 12 \times G + (T-23) \times 0.5 \quad (15)'$$

여기서, SL : 슬럼프(cm)

S : 잔골재의 종류(강모래: 0, 바순모래: 1)

G : 굵은골재의 종류(강자갈: 0, 부순돌: 1)

T : 콘크리트의 온도($^{\circ}C$)

식(13)', (14)' 및 (15)'에 의하여 단위수량이 정해지면 단위시멘트량은 단위수량과 몰시멘트비와의 관계에서 구할 수 있다.

3-3. 단위골재량의 결정

단위골재량을 구하기 위해서는 먼저 잔골재율을 정해야 하며, 일반적으로 잔골재율을 작게 취하면 소요의 워커빌리티의 콘크리트를 얻기 위하여 필요한 단위수량이 감소되며, 단위시멘트량이 적어져서 경제적인 배합이 된다. 그러나 잔골재율이 너무 작게 되면 콘크리트는 거칠어지고 재료의 분리가 일어나 워커블한 콘크리트를 얻기가 어렵다.

여기서는 표-2의 굵은골재의 최대치수와 잔골재율(S/a)과의 관계를 $S/a = a \times G_{max}^b$ 의 식으로 나타내면 다음과 같이 된다.

(1) AE제를 사용하지 않은 콘크리트

$$S/a = 102.9 / G_{max}^{0.282} (R^2: 0.98) \quad (16)$$

(2) 양질의 AE제를 사용한 콘크리트

$$S/a = 101.3 / G_{max}^{0.302} (R^2: 0.97) \quad (17)$$

(3) 양질의 감수제를 사용한 AE 콘크리트

$$S/a = 101.3 / G_{max}^{0.284} (R^2: 0.97) \quad (18)$$

이번에는 표-3의 배합보정표에 의하여 제조건의 변화를 고려하면 다음과 같다.

$$S/a = \frac{102.9}{G_{max}^{0.282}} + (FM-2.8) \times \frac{0.5}{0.1} + 2.5 \times S \\ + 4 \times G + \frac{(W/C-55)}{5} \quad (16)'$$

$$S/a = \frac{101.3}{G_{max}^{0.302}} + (FM-2.8) \times \frac{0.5}{0.1} + 2.5 \times S \\ + 4 \times G + \frac{(W/C-55)}{5} \quad (17)'$$

$$S/a = \frac{101.3}{G_{max}^{0.284}} + (FM-2.8) \times \frac{0.5}{0.1} + 2.5 \times S \\ + 4 \times G + \frac{(W/C-55)}{5} \quad (18)'$$

여기서, FM : 잔골재의 조립률

위의 식에서 잔골재율이 정해지면 잔골재량과 굵은골재량을 구하기 전에 공기량을 먼저 정해야 하므로 표-2에서 공기량과 굵은골재의 최대치수와의 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

(4) AE제를 사용하지 않은 콘크리트

$$Air = 27.9 / G_{max}^{0.385} (R^2: 0.96) \quad (16)$$

(5) AE 콘크리트

$$Air = 19.5 / G_{max}^{0.400} (R^2: 0.97) \quad (20)$$

따라서 잔골재량(S)과 굵은골재량(G)는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$S = \{1,000 - (W + \frac{C}{SGC} + Air \times 10)\} \\ \times (S/a \div 100) \times SGS \quad (21)$$

$$G = \{1,000 - (W + \frac{C}{SGC} + Air \times 10)\} \\ \times (1 - S/a \div 100) \times SGG \quad (22)$$

여기서, SGC : 시멘트의 비중

SGS : 잔골재의 비중

SGG : 굵은골재의 비중

3-4. 示方配合를 現場配合로 수정

현장의 골재상태가 시방배합의 골재와 상이할 경우, 시방배합의 골재량을 현장의 골재상태에 맞도록 수정해야 한다. 다시 말해서 현장의 골재상태가 체분석 결과 모래속에 No. 4체에 남는 자갈이 섞여 있을 경우와 자갈 속에 모래가 섞여 있을 경우 골재량을 수정해야 한다. 잔골재속에 No. 4체를 통과하는 것이 $b\%$, 굵은골재속에 No. 4체를 통과하는 것이 $a\%$ 포함되어 있을 때 현장배합의 잔골재량(S')과 굵은골재량(G')는 다음 식으로 계산한다.

$$S' = \frac{100S - b(S+G)}{100 - (a+b)} \quad (23)$$

$$G' = \frac{100G - a(S+G)}{100 - (a+b)} = S + G - S' \quad (24)$$

한편, 모래와 자갈의 표면에 표면수가 존재할 경우, 표면수에 따른 단위수량과 골재량을 수정해야 한다. 그래서 잔골재와 굵은골재의 표면수를 각각 a' 및 b' 라고 하면 표면수에 의하여 수정된 잔골재량(S''), 굵은골재량(G'') 및 단위수량(W'')는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$S'' = S'(1 + a'/100) \quad (25)$$

$$G'' = G'(1 + b'/100) \quad (26)$$

$$W'' = W - S' \times a'/100 - G' \times b'/100 \quad (27)$$

4. 레미콘 콘크리트의 配合設計를 위한 프로그램 작성 및 計算例

4-1. 배합설계를 위한 프로그램

레미콘 배합설계를 위하여 앞에서 검토한 내용을 토대로 그림-4와 같은 프로그램의 흐름도를 작성하였으며 프로그램은 부록으로 실었다.

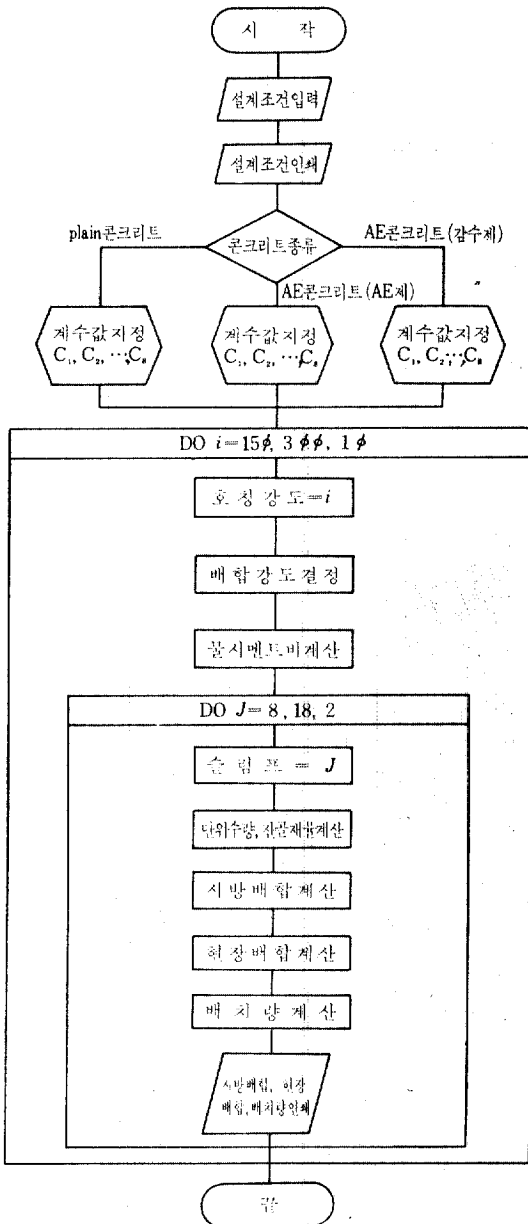


그림 4. 프로그램의 흐름도

먼저 호칭강도는 150 kg/cm^2 에서 300 kg/cm^2 까지 10 kg/cm^2 의 간격, 슬럼프값은 8 cm부터 18 cm까지 2 cm 간격으로 레미콘의 기본이 되는 총 96 배합의 계산이 가능한 프로그램을 작성하였다. 이 프로그램에 입력해야 할 자료는 굵은골재의 최대치수, 사용재료의 비중, 혼화재료의 사용유무 및 종류에 따른 배합구분, 골재의 종류, 잔골재의 조립률, 콘크리트의 온도 및 변동계수 등이며 현장배합으로 수정하기 위하여 골재의 표면수량, 굵은골재중의 잔골재량, 잔골재중의 굵은골재량 및 배치량을 입력하여야 한다. 단, 프로그램속의 $C1$ 과 $C2$ 는 식(11)과 (12)의 상수를 나타낸 것이며, $C3 \sim C8$ 은 식(13)~식(20)의 상수를 나타낸 것이다.

4-2. 배합설계의 계산예

레미콘의 배합설계를 위하여 필요한 다음과 같은 자료를 입력하면 표-4와 같은 배합계산결과가 얻어진다. 여기서는 지면의 제약관계로 배합계산결과의 일부만 실었으며 입력자료의 내용에 대해서는 이 표의 첫 부분에 설명되고 있다.

25	1	0	0	10	25
3.15	2.60	2.65	2.55	0.15	
3.50	0.08	12	08	1.75	

5. 결 론

(1) 한국공업규격의 레미콘 배합설계방법으로 단위시멘트량을 정할 경우, 콘크리트표준시방서보다 큰 증가계수를 취해야 하므로 비경제적인 배합이 되기 쉬우므로, 레미콘 주문시 호칭강도를 설계기준강도보다 얼마간 작은 값으로 지정해도 소요의 품질의 콘크리트를 얻을 수 있다.

(2) 레미콘의 배합설계시 물시멘트비를 구하기 위하여 많이 사용되고 있는 식에 대하여 검토해 본 결과 레미콘 공장에서 주로 사용되고 있는 식의 경우, 시멘트 강도를 결정하는 시험방법의 차이가 있으므로 시멘트 강도의 결정방법의 정립후 물시멘트비를 정하는 식을 사용함이 바람직하다.

(3) 레미콘의 배합설계 계산을 신속, 정확하게 수행하기 위한 한 방안으로 콘크리트의 물시멘트비, 단위수량 및 단위골재량을 결정하는 과

정확 콘크리트의 온도변화에 따른 단위수량의 보정방법 등을 검토하여 프로그램 작성에 이용할 수 있도록 회귀식을 사용하여 수식화하였다.

(4) 레미콘 제조의 거의 대부분을 차지하는 호칭강도 150~300 kg/cm², 슬럼프 8~18 cm 범

위에 해당하는 총 96 종류의 시방배합 및 재료의 변동상태에 따라 현장배합으로 수정할 수 있으며, 배치량도 계산할 수 있는 프로그램을 작성하였으며, 배합계산예를 참고자료로 소개하였다.

표 4. 레미콘의 배합계산 결과

**** MIX DESIGN OF READY MIXED CONCRETE ****

DESIGN CONDITIONS

MAXIMUM SIZE OF COARSE AGGREGATE : 25 MM
 KIND OF CONCRETE : 1 (0:PLAIN CONCRETE
 1:AE CONCRETE WITH AE ADMIXTURE 2:AE CONCRETE WITH WATER REDUCING ADMIXTURE)
 KIND OF FINE AGGREGATE : 0 (0:NATURAL AGGREGATE 1:CRUSHED AGGREGATE)
 KIND OF COARSE AGGREGATE : 0 (0:NATURAL AGGREGATE 1:CRUSHED AGGREGATE)
 COEFFICIENT OF VARIATION : 10 %
 CONCRETE TEMPERATURE : 25 C
 SPECIFIC GRAVITY OF
 CEMENT : 3.15
 FINE AGGREGATE : 2.60
 COARSE AGGREGATE : 2.65
 FM OF FINE AGGREGATE : 2.35
 DOSAGE OF ADMIXTURE : C * 0.15 %
 SURFACE MOISTURE IN
 FINE AGGREGATE : 3.50 %
 COARSE AGGREGATE : 0.08 %
 FINE PARTICLE IN COARSE AGGREGATE : 12 %
 COARSE PARTICLE IN FINE AGGREGATE : 8 %
 VOLUME OF ONE BATCH : 1.75 M3

MIX PROPORTIONS

***** SPECIFIED MIX PROPORTION *****													***** JOB MIX PROPORTION *****									
NO	FD	F	GMX	SL	AIR	M/C	S/A	UNIT WEIGHT (KG/M3)			BATCH WEIGHT (KG)											
		KG/CM2	MM	CM	%	%	%	WATER	SAND	GRAVEL	ADMIX	WATER	CEMENT	SAND	GRAVEL	ADMIX	WATER	CEMENT	SAND	GRAVEL	ADMIX	
1	150	182	25	8	5.4	64.4	39	156	242	722	1135	0.364	133	242	643	1255	0.364	233.5	424.2	1125.6	2196.6	0.636
2	150	182	25	10	5.4	64.4	39	160	248	717	1144	0.372	137	248	638	1245	0.372	240.4	434.3	1116.8	2179.5	0.651
3	150	182	25	12	5.4	64.4	39	164	254	711	1135	0.381	141	254	633	1236	0.381	247.2	444.4	1108.1	2162.4	0.667
4	150	182	25	14	5.4	64.4	39	167	260	705	1126	0.390	145	260	628	1226	0.390	254.0	454.5	1099.3	2145.3	0.682
5	150	182	25	16	5.4	64.4	39	171	266	700	1117	0.398	149	266	623	1216	0.398	260.8	464.7	1090.5	2128.1	0.697
6	150	182	25	18	5.4	64.4	39	175	271	694	1108	0.407	153	271	618	1206	0.407	267.7	474.9	1081.7	2111.0	0.712
7	160	194	25	8	5.4	61.8	38	156	253	709	1138	0.379	134	253	628	1262	0.379	234.4	442.1	1098.6	2208.1	0.663
8	160	194	25	10	5.4	61.8	38	160	259	704	1149	0.388	138	259	623	1252	0.388	241.3	452.7	1089.9	2190.6	0.679
9	160	194	25	12	5.4	61.8	38	164	265	698	1140	0.397	142	265	618	1242	0.397	248.1	463.2	1081.1	2173.0	0.695
10	160	194	25	14	5.4	61.8	38	167	271	692	1130	0.406	146	271	613	1232	0.406	254.9	473.8	1072.4	2155.5	0.711
11	160	194	25	16	5.4	61.8	38	171	277	687	1121	0.415	150	277	608	1222	0.415	261.7	484.3	1063.7	2138.0	0.726
12	160	194	25	18	5.4	61.8	38	175	283	681	1112	0.424	153	283	603	1212	0.424	268.6	494.8	1055.0	2120.4	0.742
13	170	206	25	8	5.4	59.4	38	156	263	697	1152	0.394	134	263	613	1257	0.394	235.3	460.1	1073.5	2217.7	0.690
14	170	206	25	10	5.4	59.4	38	160	269	692	1152	0.404	138	269	608	1257	0.404	242.1	471.0	1064.8	2199.8	0.707
15	170	206	25	12	5.4	59.4	38	164	275	686	1143	0.413	142	275	603	1247	0.413	248.9	482.0	1056.1	2181.8	0.723
16	170	206	25	14	5.4	59.4	38	167	282	680	1134	0.423	146	282	599	1237	0.423	255.7	493.0	1047.4	2163.9	0.739
17	170	206	25	16	5.4	59.4	38	171	288	675	1124	0.432	150	288	594	1226	0.432	262.6	503.9	1038.7	2146.0	0.756
18	170	206	25	18	5.4	59.4	38	175	294	669	1115	0.441	154	294	589	1216	0.441	269.4	514.9	1030.1	2128.0	0.772
19	180	219	25	8	5.4	57.0	37	156	274	685	1165	0.411	135	274	599	1272	0.411	236.1	479.5	1048.2	2226.2	0.719
20	180	219	25	10	5.4	57.0	37	160	281	679	1155	0.421	139	281	594	1262	0.421	242.9	490.9	1039.5	2209.9	0.736
21	180	219	25	12	5.4	57.0	37	164	287	674	1146	0.431	143	287	589	1251	0.431	249.8	502.3	1030.9	2189.5	0.754
22	180	219	25	14	5.4	57.0	37	167	294	668	1136	0.440	147	294	584	1241	0.440	256.6	513.8	1022.2	2171.2	0.771
23	180	219	25	16	5.4	57.0	37	171	300	662	1126	0.450	151	300	579	1230	0.450	263.4	525.2	1013.6	2152.8	0.788
24	180	219	25	18	5.4	57.0	37	175	307	657	1117	0.460	154	307	574	1220	0.460	270.2	536.6	1004.9	2134.4	0.805
25	190	231	25	8	5.4	55.0	37	156	284	674	1167	0.426	135	284	586	1276	0.426	236.8	497.4	1026.4	2232.6	0.746
26	190	231	25	10	5.4	55.0	37	160	291	669	1157	0.437	139	291	582	1265	0.437	243.7	509.3	1017.7	2213.9	0.764
27	190	231	25	12	5.4	55.0	37	164	298	663	1148	0.447	143	298	577	1254	0.447	250.5	521.1	1009.1	2195.1	0.782
28	190	231	25	14	5.4	55.0	37	167	305	657	1138	0.457	147	305	572	1244	0.457	257.3	533.0	1000.5	2176.4	0.799
29	190	231	25	16	5.4	55.0	37	171	311	652	1128	0.467	151	311	567	1233	0.467	264.1	544.8	991.9	2157.6	0.817
30	190	231	25	18	5.4	55.0	37	175	318	646	1119	0.477	155	318	562	1222	0.477	271.0	556.7	983.3	2138.9	0.835
31	200	243	25	8	5.4	53.0	37	156	294	664	1169	0.442	136	294	575	1279	0.442	237.5	515.3	1005.9	2237.7	0.773
32	200	243	25	10	5.4	53.0	37	160	301	659	1159	0.452	140	301	570	1268	0.452	244.4	527.6	997.3	2218.5	0.791
33	200	243	25	12	5.4	53.0	37	164	309	653	1149	0.463	144	309	565	1257	0.463	251.2	539.9	988.7	2199.4	0.810
34	200	243	25	14	5.4	53.0	37	167	316	647	1139	0.473	147	316	560	1246	0.473	258.0	552.2	980.1	2180.3	0.828
35	200	243	25	16	5.4	53.0	37	171	323	642	1129	0.484	151	323	555	1235	0.484	264.8	564.5	971.5	2161.1	0.847
36	200	243	25	18	5.4	53.0	37	175	330	636	1119	0.494	155	330	550	1224	0.494	271.7	576.8	962.9	2142.0	0.865
37	210	255	25	8	5.4	51.3	36	156	305	655	1170	0.457	136	305	564	1281	0.457	238.2	523.2	986.6	2241.5	0.800
38	210	255	25	10	5.4	51.3	36	160	312	649	1160	0.468	140	312	559	1270	0.468	245.0	536.0	978.0	2222.0	0.819

부록 : 레미콘의 배합설계를 위한 프로그램

MIX DESIGN OF READY MIXED CONCRETE

INPUT DATA ARE AS FOLLOWS:

IGMAX:MAXIMUM SIZE OF COARSE AGGREGATE
 KCNC:KIND OF CONCRETE... (0)PLAIN CONCRETE
 (1)AE CONCRETE WITH AE ADMIXTURE
 (2)AE CONCRETE WITH WATER REDUCING ADMIXTURE
 ISKIND,IGKIND:KIND OF FINE OR COARSE AGGREGATE
 --- (0)NATURAL AGGREGATE (1)CRUSHED AGGREGATE
 IV:COEFFICIENT OF VARIATION (%)
 ITEMP:CONCRETE TEMPERATURE (C)
 SGC,SGS,SGS8:SPECIFIC GRAVITY OF CEMENT,FINE OR
 COARSE AGGREGATE
 FM:FINENESS MODULUS OF FINE AGGREGATE
 DOSAGE:DOSEAGE OF ADMIXTURE (C * %)
 SMOIST,GMOIST:SURFACE MOISTURE IN FINE OR COARSE
 AGGREGATE
 ISING:FINE PARTICLE IN COARSE AGGREGATE (%)
 IGINS:COARSE PARTICLE IN FINE AGGREGATE (%)
 BATCH:VOLUME OF ONE BATCH (M3)

10
20
30
35
40
45
50
55
60

```

READ(5,10) IGMAX,KCNC,ISKIND,IGKIND,IV,ITEMP
READ(5,20) SGC,SGS,SGS8,FM,DOSAGE
READ(5,30) SMOIST,GMOIST,ISING,IGINS,BATCH
FORMAT(I2,3(X),I1),2(X),I2)
FORMAT(S,F4.2,X)
FORMAT(I2(F4.2,X),2(I2),X),F4.2)
WRITE(6,35) IGMAX,KCNC,ISKIND,IGKIND,IV,ITEMP,SGC,SGS,
Z SGC,FM,DOSAGE,SMOIST,GMOIST,ISING,IGINS,BATCH
FORMAT(1H1),//9X, 'MIX DESIGN OF READY MIXED '
Z 'CONCRETE ***',//9X, 'DESIGN CONDITIONS '
//9X, 'MAXIMUM SIZE OF COARSE AGGREGATE '
//9X, 'KIND OF CONCRETE '
//9X, 'AE CONCRETE WITH AE ADMIXTURE '
//9X, 'AE CONCRETE WITH WATER REDUCING ADMIXTURE '
//9X, 'KIND OF FINE '
//9X, 'COARSE AGGREGATE '
//9X, 'COEFFICIENT OF VARIATION '
//9X, 'CONCRETE TEMPERATURE '
//9X, 'SPECIFIC GRAVITY OF '
//9X, 'FINE AGGREGATE '
//9X, 'FINE PARTICLE IN COARSE AGGREGATE '
//9X, 'COARSE PARTICLE IN FINE AGGREGATE '
//9X, 'VOLUME OF ONE BATCH '
WRITE(6,40)
FORMAT(9X, 'MIX PROPORTIONS '
//9X,15(H-),//
//9X, 'MIX PROPORTION '
//9X, 'JOB MIX PROPORTION '
//9X,62(1H),
//9X, 'NO FO F GMAX SL AIR W/C '
//9X, 'UNIT WEIGHT (KG/M3) '
//9X, 'BATCH WEIGHT (KG) '
//9X, 'WATER CEMENT SAND GRAVEL ADMIX '
//9X, 'WATER CEMENT SAND GRAVEL ADMIX WATER CEMENT SAND '
//9X, 'GRAVEL ADMIX '
//9X,127(1H-))
IF(KCNC-1)50,60,70
C1=218
C2=107
C3=0.161
C4=313.7
C5=0.282
C6=102.9
C7=0.883
C8=27.9
GOTO 80
C1=192
C2=102
C3=0.206
C4=301.2
C5=0.302
C6=101.3
C7=0.400
C8=19.5
GOTO 90
    
```

70
80
90
100

```

C1=183
C2=102
C3=0.221
C4=295.8
C5=0.294
C6=101.3
C7=0.400
C8=19.5
ING=0
DO 120 I=150,300,10
IF(I-1
F1=0.85*IFD/(1-.3.*IV/100.)
F2=IFD/(1-.3.*IV/100./SQRT(3.))
IF(F1<.LT.F2) GOTO 90
JF=IFIX(F1+0.5)
GOTO 100
JF=IFIX(F2+0.5)
WC=C1/(JF-C2)*100.
DO 120 J=8,18,2
ISLUMP=J
UN=C4/IGMAX**C3*(1.4*(ISLUMP-8.)*#0.012)+7.5*ISKIND
Z #12.#IGKIND*(ITEMP-23.)*#0.5
UC=UN/WC*100.
SA=C6/IGMAX**C5*(FM-2.8)*#0.5/#0.12.*SM*ISKIND
Z #4.#IGKIND*(WC-35.)/5.
AIR=C8/IGMAX**C7
VAGG=1000.-(UN*UC/SGC*AIR**10.))
US=VAGG*SA/100.*#BGS
UG=VAGG*(1.-SA/100.)*#SGS
UAD=UC*UOSABE/100.
ISA=IFIX(SA#0.5)
IUA=IFIX(UA#0.5)
IUC=IFIX(UC#0.5)
IUS=IFIX(US#0.5)
IUG=IFIX(UG#0.5)
ZS=(100.#US-ISING*(US+UG))/100.-(ISING+IGINS)
ZG=US#UG-ZS
CS=ZS*(1.#SMOIST/100.)
CG=ZG*(1.#GMOIST/100.)
CW=UN-(ZS*SMOIST+ZG*GMOIST)/100.
JCM=IFIX(CW#0.5)
JCS=IFIX(CS#0.5)
JCG=IFIX(CG#0.5)
BCW=CW#BATCH
PCC=UC#BATCH
RCS=CS#BATCH
BCG=CG#BATCH
BUAD=UAD#BATCH
INO=ING+1
WRITE(6,110) INO,IFD,JF,IGMAX,ISLUMP,AIR,WC,ISA,
Z IUA,IUC,IUS,IUG,UAD,JCM,IUC,JCS,JCG,UAD,BCW,
Z RCC,RCS,BCG,BUAD
FORMAT(X,I2,2(X),I3),2(2X,I2),X,F3.1,X,F4.1,2X,
Z I2,2X,I3,4X,I3,3X,I3,2X,I4,2X,F5.3,2X,I3,4X,
Z I3,2X,I3,3X,I4,2X,F5.3,X,F5.1,2X,F5.1,
Z 2(X),F6.1),X,F5.3)
120 CONTINUE
WRITE(6,130)
130 FORMAT(1X,127(1H-))
STOP
END
    
```

참 고 문 헌

1. 文翰英·崔在眞, “레디믹스트콘크리트의 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.
2. F.W. Beaufait, P.G. Hoadley, “Mix Time and Retempering Studies on Ready-mixed Concrete,” *ACI Jour.*, Dec., 1973.
3. 井上·宇夫形, 生コン工場の計裝化, 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.
4. F. Walker, “Quality Control of Ready-mixed Concrete, *Advances in Ready Mixed Concrete Technology*” (Edited by R.K. Dhir), Pergamon Press, 1976.
5. “.Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal and Heavy-weight Concrete”, *ACI Manual of Concrete Practice*, 1980.
6. 建設部, 콘크리트標準示方書, pp.316~317, 1982. 11.
7. *Concrete Manual*, Bureau of Reclamation, pp. 255~256, 1975.
8. 콘크리트便覽, 日本コンクリート工學協會, 技報堂出版(株), p. 305, 1978.
9. 콘크리트委員會, 各種의セメントを用いたコンクリートの壓縮強度におよぼす成形·養生條件の影響, *セメント·コンクリート*, No. 229, pp.2~10, 1966. 3.
10. 山田順治, *セメント, 콘クリート·ジャーナル*, Vol. 3, No. 8, pp.24~32, 1965. 12.
11. 武田昭彦, 暑中コンクリートに関する實驗, *セメント技術年報 XVII*, pp.359~365, 1963.

(接受: 1986. 1. 23)