

電算機에 의한 Ready-Mixed Concrete의 品質管理를 위한 配合計算法

金 吉 珠 譯

〈三豆産業(株) 품질관리실장〉

本稿는 日本「Concrete工學」(Vol. 20, No. 10, Oct 1982)에 發表된 阿部道彦, 後藤知以, 長島弘의 “電算機에 의한 레미콘의 品質管理를 爲한 配合計算法”를 토대로 하여, 建設材料研究會의 “레미콘의 製造와 品質管理”를 參考로 한 것이다.

〈目 次〉

1. 머릿말
2. 品質管理用 配合計算法 作成의 基本方針
3. W/C比와 強度의 關係式
4. 配合 目標強度
5. 單位水量的 算出方法
6. 單位굵은골재량의 算出方法
7. 配合計算
8. 맺는말

1. 머릿말

Ready-Mixed Concrete에서 品質管理項目은 Slump, 空氣量, 強度이다. Concrete의 品質變動이 發生하기쉬운 最大原因은 골재에 있다고 하여도 지나친 말이 아니다.

골재의 변동은 수입검사 횟수를 많이하여 관리하면 좋으나, 합리화에 따른 인원삭감 요구가 있는반면에 골재사정이 惡化 되고있는 실정에서 그때마다 管理한다는 것이 어렵다. 이와같은 事情을 감안하여 骨材의 品質(粒度分布實積率 등)을 連續 測定할 수 있는 Sensor이 있다면

중으나, 現在 이와같은 裝置는 開發되어 있지 않다.

Senser을 利用할 수 있는 製品으로서는, 現在 Slump의 連續測定裝置(Concrete mixing 中の 電力을 Slump로 換算한 裝置로써, 實測 Slump에 맞도록 종종 수정하지 않으면, 실측 Slump와 맞지 않는다)와 骨材表面水 連續測定 裝置가 있다.

Concrete의 品質管理方法으로서는, 骨材表面水測定值를 Batcher Plant의 水分補正裝置에 設定하고 計量, Mixing된 Concrete의 Slump가 所定值보다 벗어난 경우에는 무엇인가의 이상이라고 판단하여 조사, Action을 개시하도록 한다. 이와같은 管理方式의 경우에는 入荷된 異常骨材에 대하여 試驗Mixing을 行할 余裕가 없어 이때 出荷되는 數種類의 配合에 대해 骨材 Data만으로서 判斷하여, 즉각 변경하여 所定の Slump가 얻어질 수 있도록 할 必要가 있다. 그러나 試驗Mixing을 한 骨材Data만으로 Slump를 適合하게 하기 위해서는, 現在의 示方書 및 仕様書에 의한 配合方法은 불충분하다. 그래서 各種配合計算方法이나 레디믹스 콘크리트 工場의 配合등을 調査하여 될수 있는한, 廣範圍하고 適合한것으로 統合하여, 一連의 計算手法에

의해 해결할 수 있는 Personal Computer 에 의한品質管理 System 을 만든 것이다. 이 System 은 實測 Slump 와 設定한 骨材表面水의 整合性 Check 에 따른 관리라고 말할 수 있다. 이 單位水量에 영향을 주는 要因으로써 다음과 같은 것들이 있다.

1) 잔골재의 粒度分布, 實積率, 表面水의 設定値와 實際値와의 차이등 骨材性狀 Data의 誤差.

2) 異種 Cement의 使用, 異種混和劑의 使用 등 異種材料의 使用(原材料의 溶解, 輸送 잘못 등도 포함).

3) 計量裝置의 故障에 의한 過大한 計量誤差.

4) 連行空氣量, Concrete 온도, Mixer의 Mixing 상태 등에 의한 Concrete 性狀의 異常.

또한 단위수량만의 관리로서는 파악할 수 없는 品質變動으로, 特히 強度에 영향을 주기쉬운 要因으로서의 다음 事項등이 고려된다.

a) Cement 強度의 變動.

b) 各재료의 輕微한 計量誤差와 複數의 計量誤差와의 相殺.

c) 잔골재의 有機不純物 및 잔골재중의 軟石, 死石등의 混入.

d) Mixer 에 있어서 Mixing 不足.

e) 供試體의 養生등을 포함한 試驗誤差.

그렇지만 이 중에서 軟石, 死石의 混入이나 Mixer의 Mixing 不足의 영향이 큰 경우에는 눈으로 판단할 수 있다. 따라서 目視管理도 並行하여 행하면 品質變動의 대부분을 파악할 수 있다.

2. 品質管理用 配合計算法作成의 基本方針

2-1. 現行示方書, 仕様書에 適合한 것으로 한다.

Concrete의 配合計算法으로서 土木에서는 土木學會의 標準示方書, 同解説에 의한 方法(이하 토목참고표로 한다). 建築에서는 JASS5 및 建築學會調合設計, 調合管理品質檢査指針案, 同解説에 의한 方法이 많이 이용되고 있다. 레디믹스콘크리트工場에서는 그 용도에 따라서 計

算方法을 2 가지를 사용하지 않고, 出荷量이 많은 業界쪽 方法에 의하던가, 配合設計擔當者가 받은 교육에 따라서 정하여져 있는 것이 通例이다. 本System에서는 어느방법으로도 선택가능하도록 할 必要가 있다.

2.2. 特히 所定Workability를 얻기위한 單位水量에 重點을 둔다.

本System은 設定骨材表面水率과 實測 Slump의 整合性에 의하여 品質管理上의 適否를 判斷하기때문에 配合중의 單位水量이 Key Point가 된다. 그래서 광범위한 각 조건에 대하여 試驗 Mixing을 하지않고도 所定の Slump가 얻어질 수 있게 하기 위하여서는, 單位水量의 解析에 重點을 둘 必要가 있다.

이점에서 C. T. Kennedy의 余剩Paste의 膜厚理論에 근거한 後藤阿部の 연구가 단위수량의 解析에 有効하다고 생각된다. 그러나 잔골재, 굵은골재의 混合狀態의 實積率은 일반적으로 測定하지 않기 때문에, 그 混合前의 骨材性狀에서 가능한 한 예측정도를 높이고자 생각하여 北海道内の 레디믹스콘크리트工場의 骨材, 配合에 대하여는 重回歸分析을 행하였다.

2.3. 굵은골재 최대치수를 連續關數化 한다.

일반적으로 굵은골재 粒度의 表現법에는 최대치수로서, 90%이상 통과한 최소체의 호칭치수법이 사용되고 있다.

연구용실험의 경우에는 최대치수체에서 통과한 골재를 사용하기 때문에, 문제는 없으나 골재업자는 일반적으로 작업능률을 높이기 위하여, 指定된 최대치수의 체보다 數mm큰치수의 체를 사용한다. 또 체통과율 90%를 境界로하여, 예를들면 1%의 통과율차에서 최대치수의 호칭의 不連續으로 변하는 경우에, 이에 대하여 單位水量을 變化시킨다는 것은 不自然스럽다. 이런것을 참고하여 굵은 골재의 최대치수는 하나의 目安으로 두고 連續關數로 생각한다. 단위수량이나 적절한 잔골재율을 쉽게 나타낼 수 있도록, 굵은골재 최대치수를 대신하는 評價指數가 나올때까지는 종래의 배합설계 방법에서 기준으로 나타낸 최대치수와 조립율 및 단위용적질량의 관계로부터 式을 도입한다.

이관계식 (1)(2)을 응용하기 위하여 文献 5) 등

에 표시된 자료의 값을 참조한다.

그 예를 表 1, 2에 나타냄.

$$D = (F_c / 4.4)^{1/0.135} \quad (1)$$

表 1. 잔골재의 조립율과 단위용적질량

文 献	粒徑	0.6	1.2	2.5	5.0	20	25
JASS 5 (昭和32年)	F _s	1.7	2.3	2.9	3.5	6.71	7.10
JASS 5 (昭和28年)	F _s	1.58	2.25	2.89	3.66	6.65	7.40
JASS 5 (昭和28年)	단위용적질량 (kg/ℓ)	1.5	1.6	1.7	1.8	1.65	1.70

表 2. 굵은골재의 조립율과 단위용적중량

項 目	D(mm)	20	40	80	150
조립율 (F _c)	Min	6.35	6.95	7.65	8.15
	Max	6.90	7.60	8.40	9.15
	Mean	6.33	7.28	8.03	8.65
단위용 적중량 (kg/m ³)	Min	1600	1600	1660	1720
	Max	1720	1840	1900	2020
	Mean	1660	1720	1780	1870

$$V_c = 0.6 - 0.1517D^{0.135} \quad (2)$$

$$V_c = 0.6 - 0.0345F_c \quad (2')$$

여기서 F_c: 굵은골재의 粗粒率

V_c: 굵은골재의 空隙率

D: 굵은골재의 最大치수(mm)

단 굵은골재의 최대치수 및 實積率은 굵은골재에 5mm통과분이 거의없는 상태에서 계산하도록하고, 최후에 5mm통과분의 補正을 하지 않으며 式 (2) (2')의 관계는 성립하지 않는다.

3. W/C比와 強度의 關係式

3.1 토목, 건축 共通의 形式으로 각 공장에 서 定數를 결정한다.

W/C比와 강도의 관계식은 사용하는 골재등이 큰 영향을 주기 때문에 각 공장마다 결정해야 한다. 그러나 Program에는 式의 形을 同一하게 하여, 각 공장의 定數만을 바꾸어 사용할 수 있도록 式(5)를 사용하는 것으로 한다. 이것은 일반적으로 토목에 이용되고 있는 式 (4)의

形을 移項한 것이다.

3.2 Plain 콘크리트의 W/C比를 기준으로 한다.

$$F = -A + BX \quad (3)$$

$$X = B / (F/K + A) \quad (4)$$

$$X_o = B' / (F + A') \quad (5)$$

$$X = X_o (\text{減水比}) / (\text{Cement Cut比}) \quad (6)$$

여기서 F: 배합표준강도 (kgf/cm²)

K: Cement 강도 (假定值 (kgf/cm²))

X: W/C比 (實際)

X_o: Plain 콘크리트로 환산한 W/C 비.

(舊, JASS5-昭和40年の 強度上的 W/C比와 같다.)

表 3. 北海道内 地區別 물시멘트比式의 定數平均値 (보통 포틀랜드 시멘트의 경우)

地區名	定數		혼화제를 사용하는 경우		Plain 환산	
			AE 제		혼화제 평균	
	A	B	A	B	A	B
北海 道	167	227		231	167	245.5
函 館	190	230		238	190	250.8
北 渡 島	142	214	138	211	140	227.9
樺 幌	155	236	152	241	153.5	255.7
小 木 牧	151	250	151	250	151	268.1
後 志	146	241	146	242	146	258.9
室 蘭	142	233	141	231	141.5	248.8
西 胆 振	145	233	145	233	145	249.8
苫 小 牧	160	240	160	240	160	257.3
日 高	159	239	159	239	159	256.3
千 歲	161	237	157	243	159	257.3
道 央	151	227	154	236	152.5	248.2
空 知	156	233	158	234	157	250.4
旭 川	175	232	175	241	175	253.5
上 川 北 部	121	207	139	221	130	229.4
留 前	97	191	97	197	97	208.0
宗 谷	118	205	119	208	118.5	221.4
釧 路	190	239	195	252	192.5	263.1
根 室	127	214	126	216	126.5	230.5
北 見	183	243	190	251	186.5	264.8
達 紋	159	230	148	229	153.5	246.1
十 勝	144	219	146	225	145	238.0
南 十 勝	172	232	211	265	191.5	266.2
平 均	152.7	228.3	155.0	153.8	153.8	247.7

같은 지역내에 같은 골재를 사용하는 공장이, 다른 혼화제를 사용하는 경우에는, 혼화제의減水比 및 Cement Cut比(같은 강도를 얻기 위함)에 대해 補正하는 것이라 하면 그 지역의 W/C와 강도의 관계식을 일원화하는 것이 가능하다. 또 굵은 골재로서 자연골재를 기준으로하여 두면, 부순골재와 자연골재를 混用하는 경우에는 混入率에 대한 修正을 關數化 하기 쉽다.

3.3 地區마다 集計하는 例

北海道内の Ready-Mixed Concrete 공장에서 이용되고 있는 W/C比와 강도의 관계식을式(3)으로 하고 정수 A 및 B의 평균치를 구한다.

그리고 AE 제의 減水比를 0.92, AE減水劑의 減水比를 0.87 및 Cement Cut比를 0.92로 假定하여, Plain Concrete의 W/C比와 強度의 관계식으로 환산한 例를 表 3에 나타낸다.(단, 碎石使用地區도 포함되어 있지만, 碎石의 수정 환산을 하지 않았다).

4. 配合目標強度

4.1 強度의 計量程度(편차정도)는 공장별로 정한다.

Concrete 강도의 편차는 사용하는 골재와 제조설비 및 관리정도에 따라서 당연히 다르다. 그러나 제조설비의 계량정도는 Concrete 품질의 변동정도를 생각하여 높이고, 또 골재의 품질이 안정되어 있는 地區에서는 JIS 표시허가 공장수준을 기준으로 하여 Guide Line 을 정한다.

4.2 強度의 편차계산은 표준편차 σ , 또는 변동계수 V 어느 것도 좋다.

배합강도를 산출할 때 토목에서는 일반적으로 변동계수 V가 이용되고, 건축에서는 강도표준편차 σ 가 이용되고 있다. 그 어느쪽의 방법을 선택하여도 $V = \sigma/F$ 의 관계로부터 차가 없는 것으로 한다.

4.3 참고例

일반적으로 배합강도가 높은 경우에는 강도 표준편차도 높지만, 변동계수를 일정하게 하여야 좋다는 자료도 있다. 그러나 현실에는 低強度쪽에서 불안하므로, 北海道 Ready-Mixed Concrete 공업조합의 기술위원회에서 작성한 Guide Line 을 참고로하고 각 공장의 실정에 맞게 하는 것으로 한다.(表-4) 참조).

5. 단위수량의 산출방법

5.1 개 요

단위수량은 다음과 같이 기준조건의 단위수량을 슬럼프별로 결정하여두고, 배합조건에 따라 補正하는 방식으로 한다.

- 1) 보통 Portland Cement.
- 2) 굵은골재 최대치수 25mm의 자연골재.
- 3) 잔골재의 粗粒率 2.8의 잔골재.
- 4) Plain Concrete.
- 5) Concrete 온도 20°C
- 6) W/C比 60~70%.

기준조건의 단위수량을 補正하는 방법으로는, 補正水量을 더한후 보정계수를 곱하는 방법으로 한다. 그러나 공장고유의 보정계수는 乘算 또는

表 4. 配合目標強度

강도증시의 계산방법		호칭강도												
		135	150	160	180	195	210	225	240	255	270	300	350	400
표준편차를 假定	표준편차假定値 (kg/cm ²)	20	22	22	26	26	26	32	32	32	32	35	35	40
	배합목표강도 (kg/cm ²)	175	194	204	232	247	262	289	304	319	334	370	420	480
변동계수를 假定	변동계수假定値 (%)	11	11	11	11	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	9.5	9.5	9.5	8.3
	배합목표강도 (kg/cm ²)	173	192	205	231	247	266	285	304	323	333	370	420	480

加算의 어떠한 방법으로도 좋은 것을 택했다.

$$W = (W_0 + W_1 + W_2 + W_3 + W_4) \times W_5 \times W_6 \times W_7 \times W_8 \times W_9 + W_k \quad (7)$$

여기서 W : 보정후의 단위수량 (ℓ/m^3)

W_0 : 기준조건의 단위수량 (ℓ/m^3)

$W_1 \sim W_4$: 補正水量 (ℓ/m^3)

$W_5 \sim W_9$: 수량 보정 계수

W_k : 고장고유의 보정수량 또는 보정계수.

5.2 단위수량의 산출.

(1) W_0 : 기준조건의 단위수량.

北海道内 각지구의 단위수량을 道래미콘工組가 조사한 바에 따르면, AE Concrete에서 4종류의 Slump에 단위수량을 8% 증가시켜 Plain에 환산한 예는 表-5와 같다. 다른 지구는 이 4종류의 단위수량에 지구마다 一定値를 보정(加算 또는 減算)한 값으로 한다.

일본건축학회 Concrete조합설계, 조합관리 품질검사이침(안)(이하 건축조합지침으로 略한다)에 의한 기준조건의 단위수량을 표-5에 나타낸다. 또 부순자갈을 기준으로한 ACI 613의 단위수량을 0.92로 나누어, 자연자갈의 경우에 환산한 단위수량도 표-5에 나타낸다. 기준조건의 슬럼프 5~12cm의 단위수량 W_0 의 제안치로는, 배합조건에 대하여 보정을 하고, 한번 더 각 공장이 고유보정을 하여 구한값이 Slump 全域에 대해서 적합해야 한다. High Slump제품 부분은 道래미콘工組 조사결과를 고려하여 건축조합지침의 값을 기준으로 하는 것이 좋다. 道래미콘工組의 조사에는 Slump 8cm의 단위수량의 집계 결과는 편차가 컸다. 그러나 Ready-Mixed Concrete의 Slump Loss는 High Slump 제품 부분에는 작고 Low Slump 제품 부분에는 큰 것을 고려하여 맞추면 각 공장의 Slump Loss의 예상량이 별차이가 없다고 예상된다. 그래서

Slump 8cm의 단위수량 $165kg/m^3$ 와 Slump 12cm의 $173kg/m^3$ 와의 관계는, Slump 1cm에 있어서 1.2% 변하는 관계이고, 토목의 일반적 배합수정결과와 일치하고 있다. 그래서 건축조합지침의 값을 기준값으로 하여 제안하는 것으로 한다.

2) W_1 : W/C比에 의한 보정량.

건축조합지침의 附表 1~6에서 W/C比 65%를 기준으로하여, 5%마다 40%까지의 단위수량을 비교하면 表 6처럼 된다. 그 각 골재입도의 경우 평균치로부터 근사식(8)을 만든다.

단 W/C比 65% 이상에 관해서는 보정하지 않는 것으로 했다.

$$W_1 = S\ell \{ (X_0 - 65) / 27 \} \quad (8)$$

여기서 Sℓ : Slump (cm)

X_0 : Plain 환산의 W/C比 (%)

W_1 : 잔골재의 조립율에 의한 보정량

일정의 Workability를 얻기 위한 단위수량은 잔골재의 실적율이나 비표면적, 미립분의 양에 의하여 달라진다고 생각되어진다. 이러한 종류의 연구결과로서, 余剩Paste膜厚理論을 응용하는 것을 생각할 수 있었지만, 금번에는 단기간에 결론을 통합할 필요가 있으므로, 단순하게 잔골재의 조립율 만으로써 정리하고, 후일 보정 방법을 변경 또는 추가하는 것에 대해 정리해보겠다.

보정량 W_2 의 근사식으로는 건축조합지침으로, 잔골재의 조립율 2.2, 2.8, 3.3 등, 3종류의 단위수량의 비교는 表-7 우측란과 같고 그 결과로부터 表 8의 W_2 제안치로 한다.

3) W_3 : Concrete 온도에 따른 보정량

Concrete의 온도에 의해서 일정의 Workability를 얻기위한 단위수량은 다르지만, 기존의 값 0.4~0.7/°C와는 폭이 넓으므로 중간을 취해서 表 9와 같이 0.55/°C로 한다.

表 5. 기준조건의 단위수량의 提案値와 참고자료에서 Plain으로 환산한 단위수량과의 비교

슬럼프(cm)	환산	2.5	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
W_0 提案値	-	154	159	163	165	167	169	171	173	175	177	183	186	189	193	198	198	204
建築調査指針	Plain	154	-	-	165	-	-	-	173	-	-	-	-	-	189	-	-	204
ACI613-54	부순돌-자연골재	152	152	165	165	165	-	-	-	-	-	175	175	175	-	-	-	-
道生工組調査	AE 0.92	-	-	-	-	-	-	-	174	-	-	180	-	-	190	-	-	207

表 6. 물시멘트비에 의한 단위수량 보정 근사식(건축조합지침의 부표 1~6으로부터 W/C 비의 각 단위 수량의 차를 구했다. 이 값과 유사한 식의 차 $W_1 = S\ell(X_0 - 65/27)^2$ 에 의한 값)

물시멘트비 (%)		40							평균	W_1
좁은골재 최대치수(mm)		20			25					
F_s		2.2	2.8	3.3	2.2	2.8	3.3			
슬럼프 (cm)	8	8	5	9	7	6	9	7.3	6.9	
	12	11	14	12	10	10	13	11.6	10.9	
	15	16	15	15	13	15	17	15.2	12.9	
	18	16	17	15	14	17	15	15.7	15.4	
	21	16	17	17	15	17	17	16.5	18.0	
물시멘트비 (%)		45							평균	W_1
좁은골재 최대치수(mm)		20			25					
F_s		2.2	2.8	3.3	2.2	2.8	3.3			
슬럼프 (%)	8	4	3	5	4	3	4	3.8	4.4	
	12	7	8	8	7	7	8	7.5	6.6	
	15	9	10	10	9	10	10	9.7	8.2	
	18	9	11	10	9	11	12	10.3	9.9	
	21	10	11	11	10	11	11	10.7	11.5	
물시멘트비 (%)		50							평균	W_1
좁은골재 최대치수(mm)		20			25					
F_s		2.2	2.8	3.3	2.2	2.8	3.3			
슬럼프 (%)	8	2	2	2	2	2	1	1.8	2.5	
	12	3	3	4	4	4	4	3.7	3.7	
	15	4	5	5	4	5	5	4.7	4.6	
	18	4	5	5	5	6	5	5.0	5.5	
	21	5	5	5	5	5	5	5.0	6.5	
물시멘트비 (%)		55							평균	W_1
좁은골재 최대치수(mm)		20			25					
F_s		2.2	2.8	3.3	2.2	2.8	3.3			
슬럼프 (%)	8	1	1	1	1	1	0	0.8	1.1	
	12	1	2	2	2	2	3	2.0	1.6	
	15	2	2	2	2	2	2	2.0	2.1	
	18	2	3	2	2	3	2	2.3	2.5	
	21	2	2	2	2	2	2	2.0	2.9	
물시멘트비 (%)		60							평균	W_1
좁은골재 최대치수(mm)		20			25					
F_s		2.2	2.8	3.3	2.2	2.8	3.3			
슬럼프 (cm)	8	0	0	1	0	0	0	0.2	0.3	
	12	0	1	1	0	1	1	0.7	0.4	
	15	0	1	1	0	1	1	0.7	0.5	
	18	0	1	0	0	1	0	0.3	0.6	
	21	0	1	0	0	0	0	0.2	0.7	

表-7. 建築調合指針; 잔골재의 조립율에 의한 단위수량차

물시멘트비 (%)		40			45			50		
F_s 슬럼프 (cm)		3.3	2.8	2.2	3.3	2.8	2.2	3.3	2.8	2.2
D=25 (mm)	8	-1	-	5	-3	-	5	-2	-	4
	12	-1	-	4	-3	-	4	-4	-	4
	15	-1	-	2	-3	-	3	-3	-	3
	18	-4	-	1	-3	-	2	-3	-	3
	21	-2	-	1	-3	-	2	-3	-	3
D=20 (mm)	8	1	2	9	0	3	8	-2	3	7
	12	1	4	8	0	4	7	-1	2	6
	15	1	4	9	-1	4	7	1	4	7
	18	0	4	7	2	4	6	1	3	1
	21	1	4	6	1	4	6	1	4	1
물시멘트비 (%)		55			~70			D=25, $F_s = 2.8$ 과의 단위수량차 (ℓ/m^3)		
F_s 슬럼프 (cm)		3.3	2.8	2.2	3.3	2.8	2.2	3.3	2.8	2.2
D=25 (mm)	8	-5	-	4	-1	-	4			
	12	-3	-	4	-4	-	3	$\Delta W = 2.8$	$\Delta W = 0$	$\Delta W = 3.2$
	15	-3	-	4	-3	-	3			
	18	-3	-	3	-3	-	3			
	21	-3	-	3	-3	-	3			
D=20 (mm)	8	-2	3	6	-2	3	7	$\Delta W = 0.24$	$\Delta W = 3.52$	$\Delta W = 6.64$
	12	-1	3	6	-1	2	6			
	15	1	4	8	1	4	7	차 3.28		차 3.12
	18	1	4	7	1	4	7			
	21	1	4	7	1	4	7			
$F_s = 2.8$ 과의 차평균								3.04	0	3.16
$\Delta W = \Delta W_1 (2.8 - F_s)$								6.08	-	5.27

表 8. 잔골재의 조립율과 단위수량 보정량의 관계

잔골재의 조립율	$F_s < 2.8$	$F_s > 2.8$	비 고
W_2 提案値 建築調合指針	$W_2 = 5.5(2.8 - F_s)$ $\Delta W = 5.3\Delta F_s$	$\Delta W = -5.64\Delta F_s$	— 건축조합지침도 7.3.2에 의해

表 9. 콘크리트 온도와 단위수량 보정량의 관계

W_3 提案値	$W_3 = 0.55(T_c - 20) \ell/m^3$	T_c 는 콘크리트 온도(°C)
mass concrete에서 환산	0.45~0.725ℓ/°C	아래注 참조
全生工組連 Guide book	4ℓ/10°C	名古屋協組
道生工組調査	5ℓ/10°C	
小木會春男氏研究 (레미콘기술대회)	슬럼프 8cm에서는 0.44ℓ/°C 슬럼프 18cm에서는 0.74ℓ/°C	

(주) 近藤泰夫譯 : Boulder Canyon Project Final Report : Part4 Mass Concrete, 丸善

表-10. 운반시간과 Slump Loss 및 단위수량 보정량의 관계

슬럼프의 범위 (cm)		2.5~10		15		18		21		보정수량 제안치 W_4
슬럼프 1cm당 보정수량(ℓ/m³)		2		3		3.5		5		
운반시간	항 목	ΔSI	ΔW	ΔSI	ΔW	ΔSI	ΔW	ΔSI	ΔW	
	30분 이내	1	2	1	3	0	-	0	-	2
	30~60분	1.7	3.4	1.5	4.5	1	3.5	0.75	3.8	4
	60~90분	2.5	5	2	6	1.75	6.1	1.5	7.5	6

(주) ΔSI : 슬럼프손실(cm), ΔW : 슬럼프손실 보정수량(ℓ/m³)

4) W_4 : 운반중 Slump Loss 보정
Slump Loss의 예상방법에는 공장 출하시의 Slump 값으로 높게 예상한 배합으로 하는 방법과 단위수량으로 여유를 예상한 방법등이 있다. 또 각기 보정의 예상량은 Cement의 종류나 온도, Slump의 질기정도, 운반시간, 혼화제의 종류 등에 따라서 Loss의 통일된 예측 방법이 없다. 道生工組에서는 각공장의 Slump Loss의 가정

방법을 조사 한 결과에서, Slump의 질기정도와 운반시간과에 관해서, 表 10처럼 Slump의 보정량 ΔSI (cm)을 단위수량의 보정량 ΔW (ℓ/m³)에 환산하면, Slump의 질기정도에 관계없이 대략 4ℓ/m³h로 일원화하여 얻어지는 것을 알 수 있다. 기타 조건에 의한 Slump Loss의 정리에 관해서는, Data 부족때문에 현 단계에서 Case by Case로 경험적인 값을 대입

表 11. 굵은골재 최대치수와 단위수량의 비율

(위부분은 단위수량 ℓ/m³, 밑에 쓴 부분은 단위수량비)

항 목	굵은골재 최대치수(mm)	10	15	20	25	40	50	80	150
W_5 提案値	$W_5 = 2.12 - 0.724D^{0.135}$	1.13	1.07	1.03	1.00	0.93	0.89	0.81	-
ACI 613-54	슬럼프 7.5~10cm의水量 단위수량비	228 1.181	218 1.130	203 1.052	193 1.00	178 0.922	168 0.870	158 0.818	139 0.720
미국개척국 manual	슬럼프 7.5cm의水量 단위수량비	199 1.18	184 1.034	178 1.00	166 0.933	157 0.882	148 0.831	131 0.756	
建築調合指針	단위수량비 表 3-7	-	1.02	1.00	0.94	-	-	-	

表 12. 시멘트의 종류와 단위수량의 비율

시멘트의 종류	보통	조강	초조강	고로 A	고로 B	Flyash A	Flyash B
W ₀ 提案値	1.00	1.03	미정	1.00	0.99	0.98	0.96
건축조합지침	1.00	-	-	0.97	0.96	0.96	0.93
道生工組 Guide	1.00	1.03	-	1.00	0.98	-	軟0.95 硬0.96

表 13. 혼화제와 단위수량의 비율

항 목	AE 劑	AB 감수제	비 고
W ₇ 提案値	0.92	0.87등	혼화제에 대하여 정한다
건축조합지침	0.92	-	
道生工組 Guide	0.92	0.87	

하는 방법 밖에 없다.

5) W₀ : 굵은 골재 최대 치수에 따른 보정.

종래의 배합설계 방법이라면, 굵은골재 최대 치수별로, Slump와 대응하는 단위수량을 가정 하는 것으로 이루어진다. 그러나 본 조사연구에서는 Ready-Mixed Concrete 공장에 반입되는 골재의 상태로부터 임의로 表 11의 W₀ 제안 식과 같이 連續關數形式으로 한다.

6) W₀ : Cement 종류에 따른 보정.

Ready-Mixed Concrete 공장에서는 보통 Portland Cement, 그것 이외의 Cement 종류와 같은 Workability를 얻기위한 단위수량비는 경험적으로 알고 있기 때문에 그 값을 공장마다 대입하면 좋다. 경험이 없는 경우에는 表 12의 값을 참고로 하면 좋다.

7) W₇ : 혼화제에 따른 보정.

혼화제의 상표마다 감수비 W₇을 가정한다.

이 감수비는 그 성능의 품질편차, 온도, Cement와의 相性, 골재의 입도등에 있어 좌우되지만, 종래부터 사용에 익숙한 혼화제로 경험적으로 판단하여 결정한다. 일상의 관리중 감수제의 감수비판리는 실시하고 있지 않지만 안정되어 있다고 가정한다. Anion계의 감수제중에는 Cement와의 相性이 원인으로 우연적이고 극단적으로 감수비가 변화하는 경우가 있으므로 주의가 필요하다(그때에는 감수제투입 timing을 지연시키든지, 緩和로서 해결된다) 경험이 없는 경우에 表 13에 의한다.

表 14. 공기량과 단위수량 보정량의 관계

W ₀ 提案値	W ₀ = 1 + 0.03(4.5 - Air%)
建築調合指針	기재하지 않았음

8) W₀ : 공기량에 의한 보정

Ready-Mixed Concrete의 표준품에서 공기량은 일정(일반적으로 4%, 한냉지 4.5%)하지 만, 이외의 값을 지정하는 특수품에 있어서는, 土木에서 일반적으로 사용하고 있는 表 14의 방법으로서 보정하는 것으로 한다. 또 Agitator로 운반중 air Loss가 있는 경우에는 공장출발시 Slump는 air량분에 상당하는 W₀의 단위수량 증가분 Slump는 당연히 연해지는 쪽으로 나올 것이라고 생각하여 관리한다.

9) W₀ : 굵은골재의 실적율에 따른 보정

굵은골재의 실적율과 Concrete의 軟度를 일정하게 유지하기 위해, 단위 수량과의 관계는 白山박사의 연구에 따른 보정수량의 식에서 굵은골재 최대치수에 대응하는 입도범위의 중앙값과 실적율범위의 중앙값의 관계식 12)을 대입 하여, 表 15의 W₀의 제안식으로 한다.

10) W_k : 공장고유의 보정수량

보정계수 W₁ ~ W₉에 의해 W₀을 보정하여도 현실에는 소정의 Concrete의 부드러움을 얻지 못하는 경우도 많다고 본다. 그것은 Concrete의 배합설계 방법에는 예를들어 용이하게 미립 분이라든지, 잔골재의 실적율등처럼 Concrete

의 단위수량에 영향을 미치는 未解明된 부분이 많기 때문이다. 이번에는 이것들의 미해명된 요인에 의해 보정량을 일괄하여 W_k 로서 加算型 또는 乘算型으로 보정처리 하는 것으로 한다.

6. 단위 굵은골재량의 산출방법

6.1 개요

소정의 Concrete의 軟度로써 단위 수량이 작고, Workable한 상태의 Concrete로 만들기 위하여 최적인 잔골재율 또는 단위 굵은골재량을 구하는 것은 크게 나누어 다음의 두가지 산정방법이 있다.

- 1) 기준조건의 잔골재율을 정해두고 배합조건에 대응하여 보정하는 방법
 - 2) 굵은골재 최대치수와 잔골재 조립율에 대응하여 굵은골재의かさ용적을 일정하게 하는 방법
- 일반적으로 土木에는 前者 1)의 방법이 이용되고 있지만 이번에는 검토하는 시간이 짧았으므로 계산방법이 간단한 후자의 방법에 따르는 것으로 한다. 前者의 방법도 사용가능하도록 정리할 예정이다.

단위 굵은골재량의かさ용적을 일정하게 하는 방법의 장점은 굵은골재의 입형이 틀려도 대응 가능하다. 그러나 실제 배합계산에 보정계수까지 곱하기가かさ용적을 이용하게 되어 계산방법이 복잡하게 된다. 여기서 현재는 절대용적으로 계산을 진행하여 굵은골재의 실적율에 따른 보정은 굵은골재의 절대용적에 대하여 하는 방법으로 한다.

$$G_v = (G_0 + G_1) \times G_2 \times G_3 \times G_k \quad (9)$$

여기서 G_v : 제조전 보정후의 단위 굵은골재 절대용적(ℓ/m^3)

G_0 : 기준조건의 단위 굵은골재 절대용적(ℓ/m^3)

$G_1 \sim G_3$: 諸條件에 의한 단위 굵은골재 절대용적의 보정량(ℓ/m^3)

G_k : 고장 고유의 단위 굵은골재 절대용적 : 보정량(ℓ/m^3)

6.2 단위 굵은골재량의 산출

1) G_0 : 기준조건의 단위 굵은골재량 절대용적.

단위수량을 계산하는 경우와 같은 방법으로 기준조건의 단위 굵은골재량에 대하여 보정하는 방법으로 한다.

(1) W/C比 55%

(2) 굵은골재 최대치수 25mm의 자연골재

(3) 잔골재 조립율 2.8의 자연잔골재

단위굵은골재 절대용적은 表 16에 나타난 바와 같이 참고자료에 의해 달라진다. 軟練부분은 건축조합지침에는 W/C比 60% 이상의 경우에만 보정하는 값이 표시되어 있다. 土木의 참고표에는 W/C比가 $\pm 5\%$ 차에 따라 잔골재율 $\pm 1\%$ 의 보정으로 하고 있지만, 그것을 굵은골재 절대용적의 보정량에 환산하면, W/C比가 60%이하에는 $3\ell/m^3$ 이내의 보정량이고, 60% 이상 質配合에는 $3 \sim 6\ell/m^3$ 의 보정량에 해당한다. 그러나 Ready-Mixed Concrete로서는 분리하기 어려운 것이 소망스러우므로 오늘날에는 건축조합지침에 의해 表 17의 G_1 과 같이 제안한다.

2) G_2 : 굵은골재 최대치수에 의한 보정계수.

表 15. 굵은골재의 실적율과 단위수량 보정량의 관계

W_0 提案値	$W_0 = 1 - \frac{(1 - (V_c/100)/(0.1517D^{0.135} + 0.4))G}{1000 - G}$	D : 굵은골재의 최대치수(mm) V _c : 사용골재 실적율(%) G : 기준으로 했을때 굵은골재절대용적
건축조합지침	碎石은 +8% (다만 입형판정 실적율은 58.9%를 기준) (예 : $180 \times 0.08 = 14.4\ell/m^3$)	
문헌 A	실적율차 1%에 대해 $-2\text{kg}/m^3$ (예 : $5\% \times (-2) = 10\text{kg}/m^3$)	
문헌 B	실적율차 1%에 대해 $-3.9\text{kg}/m^3$ (예 : $5\% \times 3.9 = 17.5\text{kg}/m^3$)	

(주) 문헌 A 木市崎正義 : 硬練¹⁾ Concrete에 의한 균열방지, 시공 1975. 8

B 山本泰彦 : Concrete Workability 및 강도에 미치는 굵은골재 입자의 특질, 콘크리트 저널 1969. 11

표 16. 기준조건의 단위 굵은골재량의 비교

슬럼프 (cm)		8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
G ₀ 提案値	절대용적	443	433	431	429	427	425	423	417	410	404	398	385	372	359
ACI 613-54	かさ용적 절대용적	660 426	660 426	同 - (실적율 64.5%로 할때)			660 426	-	-	-	-	-	-	-	-
建築調査指針	かさ용적 절대용적	690 451	690 451	同一 (실적율65.4%) "			690 451	-	-	640 418	-	-	-	590 386	-
舊JASS5(昭32)	かさ용적 절대용적	660 423	660 423	同一 (실적율64.2%) "			660 423	-	-	620 398	-	-	-	560 359	-
토목참고표에 의한 계산에		421	400	서서히 減한다			389	-	-	-	-	-	-	-	-

표 17. 물시멘트비에 의한 굵은골재 절대용적의 보정

G ₁ 提案値	60 < X의 경우 G ₁ = 60 - X 60 > X의 경우에는 보정한다 다만 X는 물시멘트비
건축조합지침	물시멘트비 60% 이하는 보정하지 않는다. 물시멘트비 65%에서는 절대용적 환산으로 -6 l/cm ³ , 물시멘트비 70%에서는 -13 l/m ³
토목참고표	물시멘트비 ±5%에 대해 잔골재율 ±1%

굵은골재 최대치수에 의한 보정에 대하여는 본 보고서 서두에도 서술된 것처럼, 굵은골재 최대치수를 연속관수화 하는 것으로 했기 때문에 식 (10) 및 表 18로 한다.

$$G_2 = -0.33 \log D + 1.465 \quad (10)$$

3) G₃ : 굵은골재 실적율에 의한 보정계수

굵은골재의かさ용적을 일정하게 하기 위하여, 일반적인 굵은골재입도와 실적율의 관계식 (3)을 이용하여 表 19의 제안식 G₃로 한다.

4) G_k : 공장의 고유한 보정량 또는 보정계수 단위수량의 경우와 같은 방법으로 잔골재의 미립분의 영향등 未知의 요소를 포함하여, 공장 고유의 보정량을 加算하던가 보정계수를 곱하는 것으로 한다.

6.3 잔골재의 조립율에 따른 배합보정 및 굵은골재의 過小粒과 잔골재의 파소립의 보정방법
昭和32년의 JASS5의 배합표에 의하여 잔골재, 굵은골재의 합성된 조립율을 계산하여보면 表 20에서 W/C比, Slump가 동일하다면, 2.5

mm 잔골재 (조립율 약 2.8)의 경우와의 차는 대부분 0.1 이하이다. 또 昭和28년 JASS5 이외에 AC I613에 의한 배합계산 예, America 개척국 Manual에 의한 배합계산 예에 관해서 보아도 동일하다 (表 21 참조). 이것은 굵은골재 최대치수 (過小粒을 함유하지 않은 굵은골재의 조립율)과 잔, 굵은골재혼합 조립율과는 關數關係에 있는 것을 의미하고 있다.

잔골재의 조립율에 의한 보정 및 過大過小粒에 의한 보정방법으로서는, 처음에 단위 굵은골재량에 관한 보정을 포함하여 한번 배합계산을 하고 그 배합에 대하여 잔, 굵은골재 혼합 조립율을 계산한다. 그래서 사용하는 잔골재의 조립율의 식 (11)에 대입하여 잔골재율을 결정하면 좋다.

$$S/A = (F_A - F_C) / (F_S - F_C) \quad (11)$$

$$F_A = F_S (S/A) + (1 - S/A) F_C \quad (12)$$

여기서 S/A : 잔골재율.

F_A : 잔, 굵은골재 혼합조립율.

F_C : 굵은골재 조립율

F_S : 잔골재 조립율

주) 잔골재의 過大粒 및 굵은골재의 過小粒이 있는 경우의 보정, 예를들면 굵은골재의 過小粒이 있는 경우에 종래는 過小粒부분을 잔골재로 간주하고 잔골재에서 그 양을 감소하여 잔골재율을 작게하는 계산방법이 소개되어 있다. 이것은 굵은골재의 過小粒이 잔골재와 동일한 입도라면 문제가 없지만, 즉 잔골재의 조립율은 2.8 정도이고 굵은골재의 조립율은 4에서 5 정도이다.

表 18. 굵은 골재 최대치수와 단위 굵은골재 절대 용적의 비교

굵은골재최대치수 (mm)	10	15	20	25	30	40	50	80	150
G _s 제안치	-	0.82	0.91	1.00	1.05	1.10	1.19	1.27	
토목참고표의 계산에	-	0.824 347	0.907 382	1.00 421	-	1.10 463	1.192 502	1.271 535	1.382 582
ACI613-54 (かさ용적) 同上 가정실적율	(420) 0.607 0.599	(510) 0.619 0.742	(610) 0.629 0.901	(66 0.645 1.00	- - 1.00	(720) 0.651 1.101	(750) 0.659 1.160	(800) 0.677 1.270	(860) 0.698 1.408
同上 굵은골재 절대용적	255	316	384	426	-	469	464	542	601
건축조합지침 (かさ용적) 同上 절대용적	- -	- -	(670) 0.946 420	(690) 1.00 437	1.05 1.049 463	1.10 1.100 493	- -	- -	- -
JASS5 (昭32) かさ용적 同上 절대용적	(630) * 0.897 382	(640) * 0.930 369	(650) 0.960 409	(660) 1.00 426	(670) * 1.014 432	(690) * 1.054 449	(710) * 1.039 468	(770) * 1.223 521	- -

(주) G_s 제안치는 토목참고표의 계산에의치로 사사오입한 것임, ()는 かさ용적 *추정치 (상단 25mm 比, 하단을 단위 굵은골재 절대 용적(ℓ/m³)).

表 19. 굵은골재 실적율에 의한 보정법의 비교

G _s 제안치	$G_s = P / (0.4 + 0.152D^{0.135})$ (이 식은 참고자료 3-1 및 W _s 참조) D : 굵은골재 최대치수 (mm) P : 실적율(백분율이 아니고 比이다).
건축조합지침에서 碎石	碎石의 경우 10% 減
토목참고표에서 碎石	잔골재율은 3~5%

굵은골재의 過小粒이 잔골재에 혼합되어 있는 상태는 조립율이 큰 잔골재로 되기때문에 건축조합지침에 따르면 잔골재율은 큰修正을 하게되어 일반적으로 소개되어 있는 방법과는 다른 방향으로 수정한다. 前記의 式(11)에 따르면 合理的으로 補正된 것이다.

7. 배합계산

W/C 比, 단위수량, 단위굵은골재량에 관해서 산출과정에 관해서는 3~5에 서술하였지만, 단위 Cement 量 및 단위잔골재량의 산출에 관해서는 종래의 계산법과 동일하다.

8. 맺음말

1) 굵은골재의 최대치수와 입도분포 및 粒形이 일반적인 경우의 실적율을 式(2)와 式(2)'로 가정한다. 이것은 시험 Mixing을 하지않고 배합을 수정할때의 기준으로서 사용하였을 때 효과가

있다.

2) 굵은골재의 過小粒, 잔골재의 過大粒의 보정에 대하여는 종래의 보정방법이 틀린것을 지적하여 새로운 제안을 행했다.

3) Cement Paste 膜厚理論에 의한 Slump의 예측계산방법을 채용할 예정으로 北海道内の 골재, 배합조사를 행했지만 신뢰도가 낮은 Data가 많고 중회기분석의 결과 골재의 실적율영향이 예상 이상으로 크다는 것을 안 것 뿐으로, 만족할 수 있는 중회기식이 얻어지지 않았다. 이후 확실한 Data수집을 하여 説明變數로서 잔, 굵은골재의 실적율, 표면을 미립분등을 포함하면 꽤 정밀하게 얻을 수 있다고 기대하고 이후에도 연구를 계속할 예정이다.

4) 이후도 이 연구를 계속하여 Computer 에 배합을 기억시켜 수정하는 종래의 방법이 아니고, 완전하게 시험 Mixing을 필요로 하지않고서 배합관리를 행할 수 있도록 하고 싶다. *

表 20. JASS5(昭和32年) 표준조합표 (계산 : 잔·굵은골재 혼합조립율)

W/C (%)	슬럼프 (cm)	굵은골재 최대치					D (mm)					25 (mm) 잔골재 외의 최대차
		20 (mm)				25 (mm) 잔골재 외의 최대차	25 (mm)					
		잔골재 치수 (mm)					잔골재 치수 (mm)					
		0.6	1.2	2.5	5.0	0.6	1.2	2.5	5.0			
40	5	5.21	5.17	5.18	5.21	0.03	5.53	5.47	5.46	5.52	0.07	
	10	5.35	5.30	5.29	5.35	0.06	5.70	5.65	5.58	5.61	0.12	
	15	5.51	5.43	5.37	5.43	0.14	5.88	5.76	5.70	5.70	0.18	
	19	5.54	5.42	5.37	5.40	0.14	5.92	5.77	5.70	5.69	0.22	
	22	5.44	5.32	5.27	5.31	0.17	5.86	5.70	5.61	5.60	0.25	
45	5	5.12	5.09	5.11	5.20	0.09	5.44	5.38	5.40	5.45	0.05	
	10	5.23	5.18	5.18	5.36	0.18	5.56	5.48	5.46	5.51	0.10	
	15	5.35	5.27	5.26	5.32	0.09	5.68	5.59	5.56	5.59	0.03	
	19	5.30	5.23	5.21	5.27	0.09	5.62	5.52	5.50	5.52	0.12	
	22	5.16	5.09	5.09	5.17	0.08	5.40	5.40	5.38	5.42	0.04	
50	5	5.06	5.03	5.07	5.16	0.08	5.38	5.32	5.35	5.44	0.09	
	10	5.14	5.11	5.12	5.21	0.09	5.47	5.40	5.40	5.47	0.07	
	15	5.24	5.18	5.18	5.26	0.08	5.56	5.48	5.47	5.52	0.09	
	19	5.16	5.11	5.12	5.20	0.08	5.48	5.40	5.45	5.45	0.08	
	22	5.00	4.97	5.00	5.09	0.09	5.33	5.28	5.28	5.34	0.06	
55	5	5.01	4.99	5.03	5.14	0.09	5.33	5.28	5.30	5.38	0.08	
	10	5.08	5.06	5.08	5.18	0.09	5.41	5.35	5.36	5.43	0.07	
	15	5.16	5.10	5.13	5.23	0.10	5.49	5.41	5.42	5.48	0.07	
	19	5.07	5.04	5.06	5.16	0.10	5.40	5.33	5.35	5.41	0.06	
	22	4.92	4.89	4.94	5.05	0.11	5.23	5.18	5.21	5.29	0.08	
60	5	4.98	4.96	5.01	5.12	0.11	5.30	5.25	5.28	5.37	0.09	
	10	5.03	5.02	5.06	5.17	0.11	5.35	5.30	5.33	5.41	0.08	
	15	5.10	5.06	5.11	5.20	0.09	5.42	5.37	5.38	5.46	0.08	
	19	5.01	5.00	5.03	5.14	0.09	5.34	5.28	5.30	5.37	0.07	
	22	4.85	4.84	4.90	5.02	0.12	5.16	5.13	5.16	5.25	0.09	
65	5	4.95	4.94	5.00	5.11	0.11	5.26	5.23	5.26	5.35	0.09	
	10	5.01	5.00	5.04	5.15	0.09	5.32	5.28	5.31	5.39	0.08	
	15	5.06	5.05	5.08	5.18	0.10	5.38	5.33	5.35	5.43	0.08	
	19	4.97	4.96	5.00	5.11	0.11	5.29	5.25	5.27	5.36	0.09	
	22	4.81	4.80	4.87	0.12	0.12	5.11	5.09	5.13	5.23	0.10	
70	5	4.94	4.93	4.98	5.10	0.12	5.23	5.20	5.24	5.34	0.10	
	10	5.00	4.98	5.03	5.13	0.10	5.28	5.25	5.29	5.37	0.08	
	15	5.03	5.02	5.06	5.17	0.11	5.33	5.30	5.33	5.41	0.08	
	19	4.93	4.94	4.98	5.10	0.05	5.25	5.22	5.26	5.34	0.08	
	22	4.78	4.78	4.85	4.98	0.13	5.10	5.07	5.11	5.22	0.11	