

현장 콘크리트의 品質에 관한 小考

- A Case Study of Placed Remicon in "S" Apartment -

"S" 아파트의 서중 레미콘을 중심으로



李 鶴 榮^{*1}

Lee, Hak Young



尹 度 淳^{*2}

Yoon, Do Soon

Abstract

This subject, "S" apartment structural frame has not been achieved without considerable effort by all quality controller involved. Therefore, it is appropriate at this time to report by all the fact of concrete quality control in our site.

These are emphasized that the average strength of placed concrete must always exceed the specified value of design strength used in the structural design phase.

In general, quality of ready mixed concrete largely depends not only upon the manner of production and proper observance of recognized methods of placement, finishing,

curing, transportation etc.,but also many kinds of influential factors even more handling of the test procedure.

As this practical report, approaching to judgement by analysis of sampled specimens in site weather placed concrete have satisfied quality compare the specified strength with the target strength which is applied to standard deviation related with influential factors as above mentioned.

This case study is consist of 1) A foreword, 2) Site brief, 3) A precondition for analysis, 4) A formulas derivation and quality analysis, 5) Economic gains by the coefficient of increase and 6) A conclusion.

*1 건축사공기술사, 극동ENG. 본부 상무, 본회 홍보위원.

*2 토목사공기술사, 극동ENG. 본부 차장.

1. 머리말

철근콘크리트 구조물에서 품질을 좌우하는 요인들은 무엇일까? 아마도 철근의 품질과, 품질이 보장되는 콘크리트를 목적에 맞게 생산하여, 구조체를 만들어 나가는 것이 절대적인 요인이라고 할 수 있을 것이다.

현장에서 사용된 철근은 유명 메이커에서 생산되는 것을 관리시험 차원에서 100톤 마다 공인기관에 인장시험, 전단시험, 연신율 등의 시험을 실시 하여본 결과, 비교적 양호한 판정으로 나타나고, 있음을 확인할 수 있었다.

그러나 콘크리트는 배합설계에서부터 생산, 운반, 타설 방법, 온도 관리 양생 등 여러 현장마다 변수 요인이 많으며, 일관성 있는 공사관리가 결여되는 경우가 흔히 있으므로, 品質管理 측면에서 볼 때 항상 주의를 기울여야 하는 분야일 뿐 아니라, 문제점을 사전에 해결하지 못하면 중대한 하자 내지 부실을 초래하는 결과를 맞게 될 것이다.

이러한 입장들을 전제로 하여 놓고 볼 때 한정된 시험을 위하여 슬럼프시험, 공기량 시험, 염분 함유량 시험, 온도 변화를 확인하면서, 실험실에서는 현장에서 150㎡ 마다 몰드(Mold)를 제작하여 7일강도, 28일강도 시험 등을 실시하고 있으나, 과연 현장에서 타설된 콘크리트가 얼마나 구조물로서 信賴할 수 있을까 하는 의문과 관심을 갖게 된다.

본 小考에서는 민간 아파트의 감리입장에서 “의정부 신곡 S아파트”의 골조공사 시공과정에서 “B 레미콘”의 35 룯드의 표본 공시체와 “S 레미콘”의 28 룯드의 표본 공시체를 중심으로 구

조 설계에서 주어진 조건과 현장에서 시공된 기준강도, 증가계수, 변동계수를 비교 검토 하므로써 현장 콘크리트의 신뢰성을 밝히고, 현장 콘크리트의 강도 저하율과 시험실 콘크리트와의 상대적 비교와 시공관리 차원에서 경제성, 작업성 등에 있어서도 係數的 판단을 하는데 검토의 목적이 있다.

2. 대상현장의 개요

- 2-1. 공사명 : 의정부시 신곡동 “S아파트” 신축공사
- 2-2. 대지면적 : 39,433㎡
- 2-3. 공사기간 : '95. 1 ~ '98. 4 (39개월)
- 2-4. 설계개요 :
 - 1) 건축면적 : 9,355.9㎡ 2) 건축연면적 : 192,802.7㎡ 3) 건폐율 : 23.8% 4) 용적률 : 367.7%
 - 5) 건축구조 : 철근 콘크리트 벽식구조
 - 6) 건물동수 : 총 28개동
 - 아파트 11개동 (지하 1층, 지상 15층~25층), 상가 2개동
 - 지하 주차장 5개동(지하 4층~3층),
 - 유치원 및 기타 10개동
 - 7) 아파트 세대규모 : 1,483세대(26평형 : 655세대, 33평형 : 662세대, 42평형 : 166세대)
 - 8) 아파트 감리기간 : '95년 1월 7일 ~ '98년 4월 7일 (39개월)
 - 9) 현공정 : '97년 9월 30일 현재 78%

3. 분석을 위한 전제

콘크리트의 품질 변동요인은 배차플랜트에서 레미콘 생산시의 오차, 골재원의 변동, 운반과정

및 시간, 타설시의 품질저하, 기능공의 숙련도, 공시체의 제작과정, 양생조건 등에 따라 좌우된다고 볼 수 있다.

구조설계에 반영된 재료의 규격 및 강도는 아파트의 지하층에서 5층까지는 콘크리트의 28일 압축강도 $\sigma_{ck} = 270\text{kg/cm}^2$ 를 요구하고 있다.

또한 콘크리트 표준시방서에서 지시하는 조건에서는 콘크리트의 배합강도는 현장에서 콘크리트 압축강도의 시험치가 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다고 규정하고 있다.

1) 시험치가 설계기준 강도의 80%이하로 되는 일이 1/20(Pa) 이상의 確率로 일어나서는 안된다.

2) 시험치가 설계기준 강도이하로 되는 일이 1/4 (Pb) 이상의 확률로 일어나서는 안된다고 규정하고 있다. 이러한 시방의 규정을 전제로 하고 전개될 공식의 부호를 소개하고자 한다.

$$\sigma_r = \alpha \cdot \sigma_{ck} \text{ ----- ①}$$

- ◎ 배합강도 (σ_r): 배합을 정하기 위한 목적으로, 품질변동을 고려하여 설계 기준강도를 증가시키기 위한 강도
- ◎ 증가 계수(α): 배합 강도를 위한 안전율
- ◎ 설계기준강도 (σ_{ck} 혹은 Fc): 부재 설계시 소요 압축강도(재령 28일 기준)
- ◎ 변동계수(V): α 를 정하기 위한 계수

증가계수는 현장에서 예상되는 콘크리트의 강도의 變動係數(Coefficient of Variation) 및 구조물의 중요도에 따라 정한다.

여기에서 1)의 조건은 시험치의 강도변경이

큰 경우 너무 적은 강도가 나타나는 것을 억제하는 때의 것으로 정하는 것이며, 2)의 조건은 시험치의 강도변경이 적은 경우 압축강도의 평균치가 설계강도(σ_{ck})에 대하여 너무 적게 되지 않도록 정한 것이다.

위에서 언급한 변동계수는 표준편차를 평균치로 나눈비를 백분율(%)로 표현하므로 아래의 ②와 같은 공식이 성립한다.

$$V = \frac{S_n}{x} \times 100(\%) \text{②}$$

S_n : 표준편차
 x : 시험치 평균치(kg/cm²)

여기에서 표준편차는 유한 모집단의 경우 시험 결과치와 시험 평균치와의 차를 제곱한 합계를 모집단의 수(n)로 나눈 값의 제곱근으로 표시하므로 ③과 같은 식이 성립한다.

$$S_n = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{n}} \text{③}$$

S_n : 표준편차
 x_i : 시험표본 (kg/cm²)
 \bar{x} : 시험 평균치(kg/cm²)
 n : 표본수

4. 계산공식의 유도과 품질분석

이러한 여건들을 감안하여 콘크리트 배합설계 때 콘크리트 구조물의 안전을 확보하고, 현장에서 콘크리트의 품질 변화 및 구조물의 중요성을 생각하여 설계기준 강도에 증가계수를 곱한 것을 배합강도(Required Strength)로 정의하고 있다.

위의 ①번 공식에 따라 증가계수는

$$\sigma_r = a \times \sigma_{ck}$$

$$a = \sigma_r / \sigma_{ck} \dots\dots\dots ④$$

1) 위의 시방서 1)의 조건에 따라서

$$\sigma_r = 0.8 \sigma_{ck} / 1 - 1.645V$$

$$a = \sigma_r / \sigma_{ck} \geq 0.8 / 1 - tV = 0.8 / 1 - 1.645V$$

여기에서 t=1.645는 정규분포상의 확률 Pa (1/20 확률에 대응)

V = 변동계수

2) 위의 시방서 2)의 조건으로부터

$$a = 1 / 1 - 0.674V$$

여기에서 t=0.674는 정규분포상의 확률 Pb (1/4 확률에 대응)

일반적으로 품질의 분포가 정규분포를 하고 있는 경우에 평균치를 \bar{x} , 표준편차를 Sn라고 하면 평균치 보다 표준편차의 t배만큼 적은 품질 $x = \bar{x} - Sn \times t$ 가 일어나는 확률 p는 <표 1>과 같다.

3) 2개의 결과치중 큰 값을 선택

서론에서 언급한 “B레미콘”과 “S레미콘”에서 채취한 공시체 룯드(Lot)별 편차에 따른 표준편차 및 변동계수는 <표 2> 및 <표 3>의 자료에 의하여 다음과 같은 결과의 자료를 얻을 수 있다.

<표 1> $\bar{x} - Sn \times t$ 이하의 품질이 일어나는 확률표

t	0	0.5	0.647	0.842	1.0	1.282	1.5	1.645	1.834	2.0	2.045	2.327	3.0
p	0.500	3.08	1/4	1/5	1/6	1/10	0.067	1/20	1/30	0.023	1/50	1/100	0.0013

<표 2>에 의한 “B레미콘”의 표준 편차의 계산은

$$S_n = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{13878}}{\sqrt{35}} = \frac{117.8}{5.92} = 19.89$$

$$\dots\dots\dots ⑤$$

변동계수는 <표 1>의 평균치와 위의 표준편차에 의하여

$$V = \frac{S_n}{\bar{x}} \times 100(\%) = \frac{19.89}{324} \times 100(\%) = 6.14(\%)$$

$$\dots\dots\dots ⑥$$

<표 3>에 의한 “S레미콘”의 표준편차와 변동계수는

$$S_n = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{11092}}{\sqrt{28}} = \frac{105.32}{5.29} = 19.90$$

$$\dots\dots\dots ⑦$$

변동계수는 같은 방법으로

$$V = \frac{S_n}{\bar{x}} \times 100(\%) = \frac{19.90}{317} \times 100(\%) = 6.27(\%)$$

$$\dots\dots\dots ⑧$$

위의 결과에 따라 “B레미콘”의 변동계수 V=6.14% (배합설계시 타겟트 변동계수는 10.9)

<표 2> 표본 공시체의 Lot별 자료와 평균

연번	타설일자	재령		$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	비고
		7DAYS	28DAYS			
1	07/20	275	305	-19	361	
2	07/09	244	315	-9	81	
3	07/06	230	308	-16	256	
4	06/26	249	306	-18	324	
5	06/25	246	307	-17	289	
6	06/17	281	310	-14	196	
7	06/15	260	296	-28	784	
8	06/08	277	309	-15	225	
9	06/07	271	328	4	16	
10	05/29	254	302	-15	225	
11	5/25	241	290	-34	1,156	
12	05/14	286	321	-3	9	
13	05/14	258	311	-13	169	
14	05/14	277	306	-18	324	
15	05/11	260	339	15	225	
16	05/11	260	339	15	225	
17	05/11	258	341	17	289	
18	05/06	281	345	21	441	
19	05/06	285	341	17	289	
20	05/06	294	344	20	400	
21	05/03	246	316	-8	64	
22	05/03	246	320	-4	16	
23	05/03	253	342	18	324	
24	05/03	217	312	-12	144	
25	04/25	246	320	-4	16	
26	04/25	251	334	10	100	
27	04/24	300	338	14	196	
28	04/24	300	338	14	196	
29	04/24	280	35	29	841	
30	04/24	262	326	2	4	
31	04/24	242	363	39	1,521	
32	04/19	231	300	-24	576	
33	04/12	289	351	27	729	
34	04/12	291	329	5	25	
35	04/12	286	359	35	1,225	
계		9,203	11,356		13,878	
AVE		263	324			

<표 3> 표본 공시체의 Lot별 자료와 평균

연번	타설일자	재령		$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	비고
		7DAYS	28DAYS			
1	07/25	238	308	-9	81	
2	07/25	241	315	-2	4	
3	07/12	239	301	-16	256	
4	07/10	260	297	-20	400	
5	07/09	242	307	-10	100	
6	07/06	230	311	-6	36	
7	06/28	242	294	-23	529	
8	06/26	238	301	-16	256	
9	06/25	242	310	-7	49	
10	06/18	254	309	-8	64	
11	06/17	262	314	-3	9	
12	06/12	253	321	4	16	
13	06/11	255	291	-26	676	
14	06/07	257	323	6	36	
15	06/07	263	284	-33	1,089	
16	06/04	277	369	52	2,704	
17	05/29	252	296	-21	441	
18	05/29	262	295	-22	484	
19	05/25	265	307	-10	100	
20	05/16	245	340	23	529	
21	04/13	278	319	2	4	
22	04/13	280	321	4	16	
23	03/23	240	345	28	784	
24	03/23	241	347	30	900	
25	03/23	243	335	18	324	
26	03/23	235	345	28	784	
27	03/23	254	332	15	225	
28	03/23	246	331	14	196	
계		7,034	8,868		11,092	
AVE		251	317			

이고 "S레미콘"의 변동계수 $V=6.27\%$ (배합설계시 타켓트변동 계수 : 10.1)을 얻을 수 있으므로 <표 4>에 의하여 2개사의 콘크리트 품질은 良好한 것으로 판단된다.

<표 4> 변동계수의 범위 및 판단

변동계수, V(%)	판단	비고
10이하	Excellent	
10-15	Very Good	
15-20	Fair	
20이상	Poor	

5. 증가계수로 본 레미콘의 경제성 분석

1) "B레미콘"

(1)시방서 1)의 조건(1/20확률)

$$\alpha_1 = 0.8/1 - 1.645 \times 0.0614 = 0.889$$

(2)시방서 2)의 조건(1/4확률)

$$\alpha_2 = 1/1 - 0.674 \times 0.0614 = 1.043$$

큰 값 1.043을 선택하여 그 결과를 정리하면 <표 5>와 같은 결과를 얻을 수 있다.

<표 5> 결과치의 비교

적요	구분	실계	현장	비고
설계기준강도(α_k)		270kg/cm ²	270kg/cm ²	
증가계수(α)		1.26	1.043+0.1=1.143	생산자위험률:0.1
변동계수(V)		10.9%	6.14%	
배합기준강도(σ_r)		340kg/cm ²	-	
현장시험치		-	324kg/cm ²	<표 2>참조

2) "S레미콘"

(1)시방서 1)의 조건(1/20확률)

$$\alpha_1 = 0.8/1 - 1.645 \times 0.0627 = 0.892$$

(2)시방서 2)의 조건(1/4확률)

$$\alpha_2 = 1/1 - 0.674 \times 0.0627 = 1.044$$

큰 값 1.044를 선택하여 위와 같이 정리하면 <표 6>과 같은 결과를 또한 얻을 수 있다.

<표 6> 결과치의 비교

적요	구분	실계	현장	비고
설계기준강도(α_k)		270kg/cm ²	270kg/cm ²	
증가계수(α)		1.22	1.044+0.1=1.144	생산자위험률:0.1
변동계수(V)		10.1%	6.27%	
배합기준강도(σ_r)		329kg/cm ²	-	
현장시험치		-	317kg/cm ²	<표 3>참조

3) 분석에 대한 의견

(1) 위의 2개 업체에서 생산된 콘크리트의 품질은 위 <표 5, 6>에서 보는 바와 같이 생산자 위험률 0.1을 감안하여, 그 결과를 생산자 입장에서 보면

① "B레미콘"의 배합강도의 추정은

$$\sigma_{rb} = \alpha \times \sigma_{ck} = 1.143 \times 270 = 308 \text{ kg/cm}^2$$

308 kg/cm²를 배합기준강도(Target Mean Strength)로 보아도 시방의 확률 이하로 될 일이 없을 것으로 판단된다.

② "S레미콘"의 배합강도의 추정은

$$\sigma_{rs} = \alpha \times \sigma_{ck} = 1.144 \times 270 = 309 \text{ kg/cm}^2$$

309 kg/cm²를 배합기준강도로 사용하여도 역시 시방 확률 이상의 품질을 유지할 것으로 판단된다.

(2) 그러나 현장에 도착하여 타설된 콘크리트는 현장 타설시의 不注意 및 養生 과정 등 기타의 품질 저하요인이 산재하고 있음을 감안하여, 당 현장에서 지속적으로 관리해 온 다음의 표준 양생된 供試體와 현장양생 조건과 동일한 방법으로 양생된 공시체와의 압축강도의 비교는 <표 7>에서 보는 바와 같이 "B레미콘"은 강도

저하률이 평균 8.03%, “S레미콘”의 강도는 6.95% 정도가 상기 저하요인 등에 의하여 평균적으로 감소됨을 계수적으로 확인할 수 있었다.

(3) 따라서 콘크리트 작업 및 양생에서 발생할 수 있는 제반 강도 저하요인을 감안하여, 위의 강도 低下率을 적용, 콘크리트의 강성 측면

에서, 타설된 콘크리트의 압축강도를 추정하여 보면,

① “B레미콘”의 경우

$$324 \text{ kg/cm}^2 \times (1 - 0.0803) = 297.98 \text{ kg/cm}^2$$

② “S레미콘”의 경우

$$317 \text{ kg/cm}^2 \times (1 - 0.0695) = 294.96 \text{ kg/cm}^2 \text{로 볼 수}$$

〈표 7〉 현장양생 / 표준양생의 강도 저하율

구분 LOT	B社-Remicon		강도저하율(%)	S社-Remicon		강도저하율(%)
	현장양생 (kg/cm ²)	표준양생 (kg/cm ²)		현장양생 (kg/cm ²)	표준양생 (kg/cm ²)	
1	317	363	12.67	288	321	10.20
2	324	334	2.99	290	310	6.45
3	289	307	5.86	288	309	6.79
4	286	306	6.53	301	332	9.33
5	289	308	6.16	305	307	0.65
6	303	315	3.80	292	308	5.19
7	285	305	3.80	292	308	5.19
8	271	344	21.22	285	303	5.94
9	308	341	9.67	282	310	9.03
10	321	339	5.30	271	323	16.09
11	281	342	17.83	286	306	6.53
12	296	312	5.12	279	301	7.30
13	284	297	4.37	283	301	7.30
14	330	363	9.09	285	300	5.00
15	330	347	4.89	292	307	4.88
16	330	347	4.89	289	310	6.77
17	274	294	6.80	301	327	8.38
18	297	321	7.47	305	307	0.65
19	304	330	7.87	282	310	9.03
20	283	335	15.52	266	292	8.90
21	315	331	4.83	-	-	-
	B社 평균저하율		8.03	S社 평균저하율		6.95

註 1. 표준양생 : 수중양생 20±3℃(수조), 제령은 28일 / 현장양생 : 현장 양생 조건과 동일한 방법으로 양생

2. CON'C TYPE : 25-270-15

3. 표본공시체 시험기간 '96. 4~'96. 7

4. 1 LOT는 3개의 공시체 평균

있다.

따라서 증가 계수로 본 레미콘의 경제성 분석의 결과를 종합하면, 현장 콘크리트 작업시 거푸집에 콘크리트 타설-다지기-마무리-양생 등 모든 작업과정에 정성을 들인다면, 구조물의 품질 제고는 물론, 생산시 안전율을 과대 적용하지 않고 경제적인 배합으로 콘크리트를 생산하여, 그 가격을 낮출 수 있을 것으로 고려되므로 생산자는 물론 소비자 모두의 예산절감에 큰 효과를 거둘 수 있다고 본다.

6. 결론

최근 레미콘의 사용 빈도가 높아지고 있는 추세에서 볼 때, 콘크리트의 배합설계부터 생산, 운반 등의 과정을 레미콘 업체에 일방적으로 일임 하므로써, 품질관리의 누수 현상이 있음을 볼 수 있고, 그나마 건설기술자 들이 콘크리트 생산 과정을 접할 수 있는 기회가 적었던 사실은 숨

길 수 없는 현실임을 감안하여, 품질관리에 가일층 노력하여야 할 것이다.

또한 설계서와 시방서에서 계수적으로 요구하는 강도를 만족시키도록 노력하여야 할 것이며, 표준양생과 현장양생의 강도 저하율은 7~8% 정도 감소되는 결론을 얻을 수 있었다. 사례로 본 "B"레미콘과 "S"레미콘은 배합강도를 정하여도 요구 조건들은 모두 만족할 수 있는 것으로 판단되며, 그것이 경제적인 설계, 경제적인 시공의 기본이 될 것으로 판단된다.

따라서 레미콘을 활용하는 현장 기술자도 품질의 중요성을 재 인식하고, 콘크리트의 배합설계 과정에서부터 타설까지의 전 과정을 시공관리 차원에서 내구성, 작업성, 그리고 경제성 등을 갖는 균질한 콘크리트를 생산하도록 시공자나 감리자 모두가 많은 관심을 갖고 품질관리에 最優先을 두어야 할 것으로 제안하는 바이다.

(원고 접수일 1997. 9. 30)