

# 통계분석에 의한 현장 타설 콘크리트의 품질 특성에 관한 연구

## A Study on the Properties of Ready Mixed Concrete Quality in Site by Statistical Analysis

지 석 원\*      정 시 진\*\*      서 치 호\*\*\*  
Ji, Suk-Won    Jung, Si-Jin    Seo, Chee-Ho

### Abstract

The quality of ready-mixed concrete(henceforth abbreviated remicon) is influenced by various factors such as ingredient of material, difference of property, mixing ratio, mixing time, mixing error, conditioning of construction, method of curing and temperature, humidity time in transportation. These factors make it hard to confirm the quality of remicon till placing in site. As the quality control in field is very important to ensure the quality of building. Moreover in modern building production, the more important the inquiry of performance improvement, the more important the manufacture and the quality control of remicon. In this study, to examine and analyze the quality of remicon we used slump, air content and compressive strength in 7, 28 days as to remicon which placed during on year. As a result, we found that the slump and air content were satisfied with reference code and the compressive strength was more than the design standard strength so we concluded that the quality control of remicon was to be agreeable.

### 요 지

현장에서의 레디믹스트 콘크리트(이하 레미콘) 품질에 대한 신뢰도의 정량적 평가를 위해 동일 규격 레미콘에 대하여 타설시기에 따른 슬럼프값, 공기량, 염분함유량 및 재령에 따른 압축강도의 품질 특성값의 변동 정도를 비교하고 각각의 시험값들을 통계적인 분석도구를 이용하여 그 품질변동 요인 및 품질값을 분석하였다. 이러한 분석 결과를 통해 7일강도와 28일강도 사이의 상관식과 공기량 및 슬럼프의 품질 신뢰도를 파악하였으며 이에 대한 결과 고찰 및 콘크리트 품질 확보를 위한 관리방안을 모색하고자 하였다.

**Keywords :** Ready mixed concrete, Statistical analysis, Slump, Compressive strength

**핵심 용어 :** 레디믹스트 콘크리트(레미콘), 통계적 분석, 슬럼프, 압축강도

\* 정회원, 한국구조물성능평가원 부장, 공학박사

\*\* 정회원, 강원대학교 건축과 강사, 공학박사

\*\*\* 정회원, 건국대학교 건축대학 교수, 공학박사

E-mail : chseo@konkuk.ac.kr 02-450-3454

•본 논문에 대한 토의를 2007년 10월 31일까지 학회로 보내  
주시면 2008년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

현장에서의 콘크리트 품질검사는 일반적으로 레미콘 공장에서 현장에 납품한 콘크리트의 품질검사와 타설 후 구조체 콘크리트의 압축강도 검사로 대별할 수 있다.

타설 전 현장에서의 품질검사 항목으로는 콘크리트의 위키빌리티 측정을 위한 슬럼프 시험과 내동해성 향상을 위한 공기량 시험, 바다모래 등의 사용으로 인한 콘크리트의 성능저하를 방지하기 위한 염분함유량 시험 등을 들 수 있으며, 정해진 규정에 따라 압축강도를 측정하기 위한 공시체를 제작하고, 타설 후 구조체 콘크리트의 압축강도 추정을 위하여 미리 제작하여 양생된 공시체를 사용하여 재령에 따른 압축강도 시험을 실시하게 된다.

따라서 본 연구에서는 실제 건설 현장에 납품하여 타설된 레미콘을 대상으로 타설 전 시험데이터와 타설 후 재령에 따라 측정된 압축강도 데이터를 이용하여 그 측정값을 비교·분석해 봄으로써 현재 일반적으로 사용되고 있는 레미콘의 품질정도를 파악하고자 하였다. 이에 따라 본 논문에서는 우선적으로 수도권 및 충청권, 강원권의 레미콘 자료를 수집, 분석하여 레미콘 품질관리 현황파악을 위한 데이터 분석을 실시하였으며 분석결과는 전국단위의 현황파악을 위한 기초자료로서 활용하고자 하였다.

주요 분석내용으로는 동일 규격 레미콘에 대하여 타설시기에 따른 슬럼프값, 공기량, 염분함유량 및 재령에 따른 압축강도의 품질 특성값의 변동정도를 비교하고 각각의 시험값들을 통계적인 분석도구를 이용하여 분석하여 그 품질변동 요인을 파악하고자 하였다. 또한 이러한 통계적인 분석도구를 이용하여 품질값을 분석함으로써 현장 타설 콘크리트의 신뢰성을 정량적으로 평가하고자 하였다.

## 2. 자료의 수집 및 분석방법

### 2.1 자료의 수집

국내 콘크리트 관련 공사의 대부분을 차지하고 있는

Table 1 자료의 수집 내용

요 인	수 준	
현장	총7개현장 (강원 3개, 수도권 2개, 충청 2개)	
품질 값	경화전	슬럼프, 공기량, 염화물량
	경화후	재령7일, 28일 압축강도
기타	타설시기, 납품회사, 타설위치	

\* 각 현장에 대하여 전 공사기간에 걸쳐 타설된 콘크리트를 대상으로 함

공동주택을 대상으로 최근에 공사가 완료된 7개 현장에 대하여 전 공사기간에 걸쳐 작성된 콘크리트 타설일지와 품질관리대장을 중심으로 총 1,171개의 자료를 수집하여 정리하였다.

조사 내용은 Table 1에서와 같이 슬럼프, 공기량, 염화물량과 재령7일 및 28일 압축강도에 대하여 조사하였으며, 타설시기 및 위치와 납품회사별로도 구분하여 전 공사기간에 걸쳐 광범위하게 조사하였다.

### 2.2 분석내용 및 방법

수집된 자료를 통계분석 도구를 사용하여 각 현장별 품질관리항목에 대한 평균 및 분포성향을 기본적으로 분석하였으며, 타설시기 및 타설위치, 콘크리트 납품회사에 따른 품질분포성향에 대하여도 각 요인별로 다각도로 연관지어 조사·분석하였다.

또한 통계분석 도구를 이용하여 각 품질관리 항목에 대한 평균값과 오차범위를 정량적으로 산출함으로써 현장에서 타설되고 있는 콘크리트의 품질을 실질적으로 평가하며, 이러한 결과가 향후 품질관리에 있어서 기본적인 참고자료가 될 수 있도록 함과 아울러 그 신뢰성을 제고시키고자 하였다.

본 연구에 사용한 분석 도구로는 수집된 자료를 집단의 특성이나 성격에 따라 정리하기 위하여 빈도분석 및 기술통계분석과, 수집된 자료가 동일한 평균을 가진 모집단에서 추출되었는지의 여부를 추정할 수 있고 두 집단 또는 그 이상의 집단들을 동시에 비교할 수 있는 분산분석을 이용하였다. 또한 변수들 간의 관련성과 방향성의 정도를 검정하기 위하여 상관분석, 회귀분석 등을 이용하였다.

### 3. 현장 타설 콘크리트의 현황 분석

#### 3.1 기초 통계 분석

수집된 자료를 이용하여 각 현장별로 품질관리 항목에 대한 기초적인 통계분석을 실시한 결과는 Table 2와 같으며, 각 현장에 따른 타설 레미콘의 규격과 납품회사 및 공동주택의 시공층수는 Table 3과 같다.

Table 2 품질관리 항목에 대한 현장별 기술통계

현장	규격	항목	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	염화물량 (kg/m³)	압축강도		도수
						7일	28일	
A	24-8	평균	9.1	4.8	0.038	21.7	29.9	8
		표준편차	0.7838	0.1642	0.00991	1.36113	1.58559	
		최소값	7.3	4.60	0.30	19.8	27.5	
		최대값	9.7	5.10	0.50	23.6	32.3	
	24-15	평균	16.2314	4.2919	0.05577	21.66395	29.37907	86
		표준편차	0.3983	0.3808	0.02724	1.19597	9.14083	
		최소값	15.20	3.20	0.006	19.100	25.600	
		최대값	17.20	5.10	0.140	25.900	112.600	
	27-15	평균	16.3	4.3	0.055	25.1	32.2	38
		표준편차	0.5134	0.3012	0.01940	1.69946	1.41601	
		최소값	14.5	3.30	0.020	19.400	29.500	
		최대값	16.8	4.90	0.090	28.600	36.100	
B	24-8	평균	8.9	4.3	0.043	22.5	29.9	21
		표준편차	0.5239	0.3749	0.01354	3.05645	2.51090	
		최소값	8.20	3.80	0.020	19.400	26.800	
		최대값	9.80	5.00	0.060	31.600	35.700	
	24-15	평균	15.5	4.3	0.049	22.3	29.5	85
		표준편차	0.9930	0.4431	0.01474	2.59918	2.26773	
		최소값	7.70	3.20	0.010	17.500	25.700	
		최대값	16.8	5.40	0.100	28.500	37.800	
	27-15	평균	16.0	4.2	0.052	24.5	33.4	31
		표준편차	3.6304	0.3869	0.01995	2.87438	2.68250	
		최소값	14.2	3.50	0.020	19.500	28.600	
		최대값	35.3	5.00	0.110	31.100	38.500	
C	24-8	평균	8.7	4.0	0.031	19.5	30.1	14
		표준편차	0.4698	0.3577	0.01270	1.63183	1.38667	
		최소값	7.70	3.70	0.012	17.600	28.000	
		최대값	9.30	4.90	0.54	23.700	32.100	
	24-15	평균	15.7	4.1	0.043	19.0	28.2	77
		표준편차	0.4752	0.3974	0.02109	1.13075	0.88937	
		최소값	14.5	3.20	0.019	12.800	26.100	
		최대값	17.2	5.00	0.117	21.300	30.600	
	27-15	평균	15.9	3.8	0.030	20.2	29.9	12
		표준편차	0.3864	0.3655	0.01262	0.72655	0.70124	
		최소값	15.3	3.30	0.004	18.900	28.700	
		최대값	16.5	4.70	0.047	21.600	31.100	
D	24-8	평균	9.0	4.2	0.025	20.6	31.0	15
		표준편차	0.4291	0.3638	0.01534	1.26348	1.31963	
		최소값	8.00	3.80	0.002	18.800	27.800	
		최대값	9.70	5.00	0.060	22.800	32.600	
	24-15	평균	16.0	4.2	0.055	18.8	28.0	101
		표준편차	0.4738	1.2382	0.04178	0.75876	0.83334	
		최소값	14.3	3.40	0.006	17.200	26.400	
		최대값	16.8	16.0	0.415	20.700	30.200	
	27-15	평균	15.8	4.1	0.040	20.7	30.5	45
		표준편차	0.4965	0.4892	0.01812	1.28556	1.39929	
		최소값	14.7	3.30	0.004	19.100	27.900	
		최대값	16.7	5.50	0.091	25.900	35.200	
E	24-8	평균	9.7	4.1	0.028	19.6	29.0	18
		표준편차	0.5483	0.5714	0.01424	2.44351	2.45632	
		최소값	8.00	3.10	0.013	16.900	26.300	
		최대값	10.0	5.00	0.059	25.400	34.400	
	24-15	평균	16.1	4.2	0.037	20.2	28.0	176
		표준편차	0.8951	0.5039	0.02223	1.55780	1.78617	
		최소값	9.50	3.00	0.003	14.300	22.300	
		최대값	17.5	5.70	0.105	24.300	35.100	
	27-15	평균	15.9	3.9	0.024	21.4	30.7	25
		표준편차	0.8888	0.6158	0.01438	1.86771	1.35710	
		최소값	14.0	3.00	0.005	18.700	27.900	
		최대값	17.5	5.30	0.054	24.100	33.800	

F	24-8	평균	9.0	4.3	0.024	20.9	28.1	19	
		표준편차	0.8412	0.5156	0.01314	3.04112	3.29739		
		최소값	7.50	3.30	0.011	14.800	19.300		
		최대값	10.5	5.40	0.060	27.300	33.000		
	24-15	평균	15.8	3.9	0.039	21.0	28.6	134	
		표준편차	1.0257	0.4342	0.02572	1.85036	2.52161		
		최소값	9.50	3.10	0.006	17.000	23.400		
		최대값	17.0	5.30	0.200	27.500	36.100		
	27-15	평균	15.5	4.1	0.047	21.8	31.4	25	
		표준편차	0.8500	0.4143	0.03574	1.72482	1.55142		
		최소값	14.0	3.50	0.015	16.600	28.800		
		최대값	17.0	5.00	0.200	25.900	34.300		
G	24-8	평균	8.6	4.0	0.030	20.2	27.2	29	
		표준편차	0.3457	0.2353	0.01976	0.96755	0.89363		
		최소값	8.00	3.50	0.006	18.000	24.900		
		최대값	9.30	4.50	0.087	22.100	29.100		
	24-15	평균	16.1	4.1	0.038	20.9	27.1	212	
		표준편차	0.6263	0.3192	0.04220	1.13586	0.70009		
		최소값	14.0	3.40	0.003	17.900	24.400		
		최대값	17.3	5.00	0.508	23.600	28.600		
	합계	24-8	평균	9.01	4.25	0.031	20.7	29.0	124
			표준편차	0.6359	0.4291	0.01615	2.34915	2.42507	
			최소값	7.30	3.10	0.002	14.800	19.300	
			최대값	10.5	5.40	0.087	31.600	35.700	
24-15		평균	16.00	4.16	0.043	20.6	28.1	871	
		표준편차	0.7886	0.5850	0.03188	1.94283	3.51063		
		최소값	7.70	3.00	0.003	2.200	2.800		
		최대값	17.5	16.0	0.508	28.500	112.600		
27-15		평균	15.98	4.15	0.043	22.6	31.5	176	
		표준편차	1.6282	0.4600	0.02357	2.63365	2.00024		
		최소값	14.0	3.00	0.004	16.600	27.900		
		최대값	35.3	5.50	0.200	31.100	38.500		

\* 굵은글씨의 최대치수는 25mm로 통일함.  
 본 논문에서 규격의 표현은 다음의 예와 같다.  
 예) 24-8 : [설계기준강도(MPa)]-[슬럼프(cm)]

Table 3 현장 자료 수집 조건

기호	층수	사용레미콘	납품회사
A	18층/20층	24-8, 15 / 27-15	7개사
B	20층	24-8, 15 / 27-15	6개사
C	15층/20층	24-8, 15 / 27-15	5개사
D	20층	24-8, 15 / 27-15	6개사
E	18층	24-8, 15 / 27-15	2개사
F	18층	24-8, 15 / 27-15	4개사
G	15층	24-8 / 24-15	4개사

Table 3에서와 같이 공동주택에 타설되는 콘크리트의 규격은 시공되는 층수에 따라 달라지며, 일반적으로 15층 이하의 규모의 경우에는 설계기준강도 24MPa에 슬럼프 8cm와 15cm를 주로 사용하고 있었으며, 18층 이상의 고층일 경우에는 설계기준강도 27MPa를 같이 사용하고 있는 것으로 나타났다. Fig. 1에서와 같이 조사된 자료 전체를 대상으로 한 분류에서 설계기준강도 24MPa에 슬럼프 15cm가 전체의 약 74%를 차지하는 것으로 나타나 국내 공동주택의 대표적인 콘크리트의 규격임을 알 수 있다.

### 3.2 슬럼프

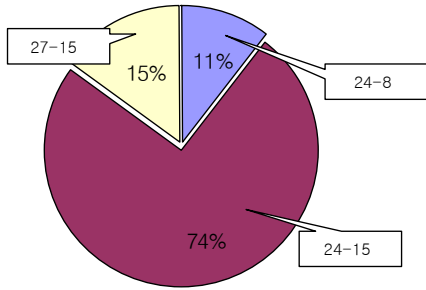


Fig. 1 규격별 콘크리트의 사용빈도

Fig. 2는 조사 대상 콘크리트의 타설 시기별 누적 그래프를 나타내는 것으로 대개 4월과 10월을 정점으로 한 봄과 가을철에 콘크리트 타설 공사를 주로 하는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 우리나라의 기후 조건에 따른 것으로 여름철의 경우 높은 온도에 따른 급격한 초기 건조와 장마철 등의 영향으로 타설횟수가 감소하는 것으로 판단되며, 겨울철의 경우에도 품질관리상 특별한 공사를 제외하고는 대체로 콘크리트 공사를 하지 않기 때문으로 판단된다. 특히 여름철과 겨울철의 경우에는 서중콘크리트와 한중콘크리트의 특수 콘크리트의 영역에 속하며, 품질관리 또한 까다로운 편이므로 국내의 경우 연중 균일한 콘크리트 타설 작업을 하기에는 매우 불리한 조건을 가지고 있다고 할 수 있다.

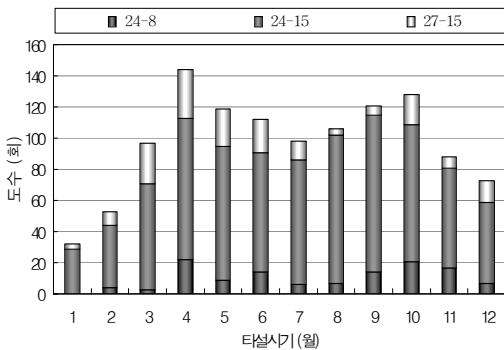


Fig. 2 규격별 콘크리트의 타설시기

Fig. 3은 전체 현장을 대상으로 한 규격별 슬럼프값의 분포를 나타낸 것으로 슬럼프값은 규격에 따라  $\pm 2.5\text{cm}$ 의 허용범위 내에 들어야 하며, 본 조사대상 콘크리트의 경우 모두 규격보다 상회한 값을 나타내었다.

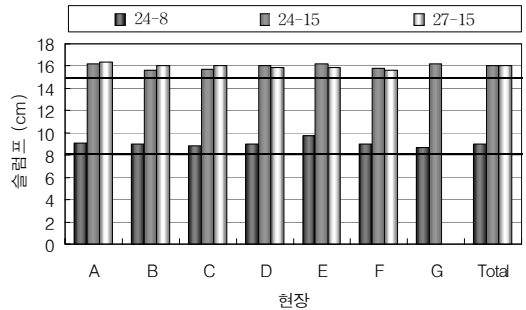


Fig. 3 규격별 콘크리트의 슬럼프값

8cm 규격의 경우 전체적으로 평균 9.0cm를 나타내었고, 15cm 규격의 경우 설계기준강도에 관계없이 16.0cm의 값을 나타내고 있었다.

현장 타설 콘크리트의 슬럼프값은 작업성의 척도로서 매우 중요한 품질관리 항목이며, 운반시간과 현장에서의 예기치 않은 요인들로 인하여 슬럼프 저하의 위험이 항상 존재하고 있다. 따라서 Fig. 2에서와 같이 레미콘 제조 회사의 경우 이와 같은 슬럼프 저하에 대처하기 위하여 규격보다 상회하는 슬럼프값의 콘크리트를 제조하는 것으로 판단된다.

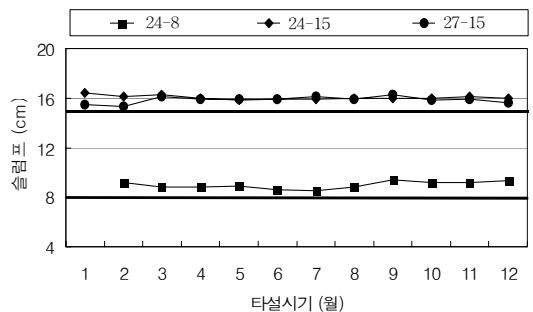


Fig. 4 타설시기에 따른 규격별 콘크리트의 슬럼프값

Fig. 4는 타설시기에 따른 규격별 콘크리트의 슬럼프값을 나타낸 것으로 15cm 규격의 경우 타설시기에 관계없이 균일한 슬럼프값을 보였으나, 규격 8cm의 경우에는 7월과 8월을 중심으로 주로 여름철에 타설되는 것이 상대적으로 낮은 슬럼프값을 나타내는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상으로 미루어 여름철의 경우 높은 온도에 따른 수분의 증발과 빠른 수화반응으로 인하여 슬럼프의 저하가 높아짐을 알 수 있다. 따라서 여름철의 경우 작업성의 확보를 위한 더욱 세심한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

Table 4는 규격별 콘크리트 전체에 대한 분산분석을 실시하여 규격별 슬럼프값의 신뢰구간을 나타낸 것으로 국내 시공사의 슬럼프값은 설계기준강도 24MPa, 슬럼프 8cm일 경우 평균값은 9.0cm이고 이는 95%의 신뢰수준에서  $\pm 0.113\text{cm}$ 의 오차범위를 가지고 있었고, 슬럼프 15cm의 경우는 평균 16.0cm이며 이는 95%의 신뢰수준에서  $\pm 0.0525\text{cm}$ 의 오차범위를 나타냈으며, 설계기준강도 27MPa, 슬럼프 15cm일 경우에는 평균 15.9cm이고 95%의 신뢰수준에서  $\pm 0.1061\text{cm}$ 의 오차범위를 나타내었다.

Table 4 규격별 슬럼프값의 신뢰구간

규격	도수	평균	표준편차	표준오차	평균에 대한 95% 신뢰구간	
					하한값	상한값
24-8	124	9.0	0.6359	5.710E-02	8.9015	9.1275
24-15	871	16.0	0.7886	2.672E-02	15.9566	16.0615
27-15	176	15.9	0.7133	5.377E-02	15.7649	15.9771

### 3.3 공기량

국내의 경우 겨울철 동결작용에 대한 내구성 확보와 콘크리트의 워커빌리티 개선을 목적으로 혼화제를 사용하여 콘크리트 내부에  $4.5 \pm 1.5\%$ 의 공기량을 연행하는 것이 표준품으로 되어 있다. 본 조사 대상 콘크리트의 경우 전체적으로 평균 4.18%의 공기량을 나타내었으며, 슬럼프 규격이 8cm일 경우 평균 4.25%, 15cm일 경우 평균 4.15%를 나타내어 슬럼프 8cm의 경우가 공기량이 약간 높은 것으로 나타났다.

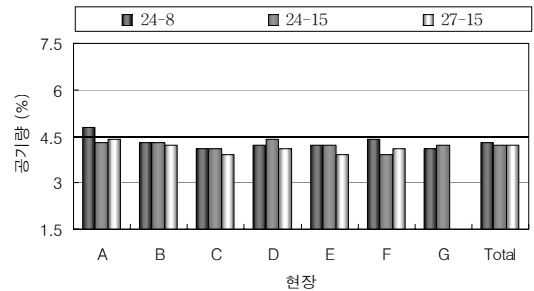


Fig. 5 규격별 콘크리트의 공기량

Table 5 규격별 공기량의 신뢰구간

규격	도수	평균	표준편차	표준오차	평균에 대한 95% 신뢰구간	
					하한값	상한값
24-8	124	4.25	0.4291	3.853E-02	4.1786	4.3311
24-15	871	4.15	0.4256	1.442E-02	4.1242	4.1808
27-15	176	4.16	0.4600	3.467E-02	4.0895	4.2264

Table 5는 규격별 콘크리트 전체에 대한 분산분석을 실시하여 규격별 공기량의 신뢰구간을 나타낸 것으로 표에 나타난 바와 같이 국내 시공사의 공기량은 설계기준강도 24MPa, 슬럼프 8cm일 경우는 평균 4.25%이고 이는 95%의 신뢰수준에서 0.0762% 포인트의 오차범위를 나타내고 있으며, 슬럼프 15cm의 경우에는 평균 4.15%이고 이는 95%의 신뢰수준에서 0.0283% 포인트의 오차범위를 보였다. 또한 설계기준강도 27MPa, 슬럼프 15cm일 때에는 평균이 4.16%이며 95%의 신뢰수준에서 0.0685%의 오차범위를 나타내고 있었다.

## 4. 압축강도 특성 분석

### 4.1 규격별 압축강도

Table 6은 규격별 28일 압축강도의 신뢰구간을 나타낸 것으로, 24-15는 평균 28.1MPa로 표준오차가  $\pm 0.09192\text{MPa}$ 로 가장 낮게 나타나고 있으며, 24-8이 평균 25.9MPa로 표준오차가  $\pm 0.764515\text{MPa}$ 로 가장 높게 나타나고 있다. 이는 슬럼프가 높을수록 표준오차가 낮아지는 것으로 분석되며, 규격별로 보면

Table 6 규격별 28일 압축강도의 신뢰구간

규격	도수	평균	표준편차	표준오차	평균에 대한 95% 신뢰구간	
					하한값	상한값
24-8	124	25.9	5.32798	0.38755	25.13760	26.66663
24-15	871	28.1	1.72454	0.05843	28.00506	28.23444
27-15	176	31.5	2.00024	0.15077	31.22289	31.81802

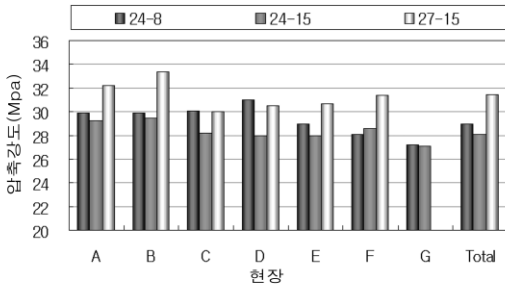


Fig. 6 규격별 콘크리트의 재령28일 압축강도

24-15, 27-15가 현장 타설시에 콘크리트 품질관리를 안정적으로 유지하고 있는 것으로 분석되고 있다.

한편 콘크리트의 28일 압축강도를 규격별로 살펴보면 설계기준강도보다 24-15는 17%, 27-15는 16.6%를 상회하고 있으며 이는 콘크리트제조사의 생산과정과 타설현장에서의 고품질관리 차원에서 불량콘크리트 생산의 방지와 고품질 생산의 신뢰성을 얻고자 하는 의지로 보아야 할 것이다. 참고로 콘크리트의 규격별 사용처를 살펴보면, 24-8은 대체적으로 주차장의 구조물, 저층구조물의 기초 등에 사용되며, 24-15는 지상 구조물에 사용되고, 특히 27-15는 18층 이상 고층구조물의 저층부에 적용되는 것으로 나타났다.

## 4.2 지역별 압축강도

본 연구에 사용된 자료를 수도권, 충청권, 강원권으로 구분하여 권역별 레미콘의 28일 압축강도에 대한 기술통계분석을 실시한 결과 다음의 Table 7과 같이 지역에 따라 다소 상이한 결과가 나타났다. 일반적으로 수도권의 경우가 가장 높은 압축강도를 나타내고 있으며 슬럼프 8cm 규격을 제외하고는 충청권과 강원권은 대체적으로 유사한 수준으로 나타났다. 이러한

Table 7 지역별 28일 압축강도의 신뢰구간

지역	규격	평균	표준편차	최소값	최대값	도수
	240-15	28.9	18.7049	25.6	37.8	171
	270-15	32.7	21.5179	28.6	38.5	69
충청권	240-8	30.5	14.0227	27.8	32.6	29
	240-15	28.1	8.6168	26.1	30.6	178
	270-15	30.4	12.9763	27.9	35.2	57
강원권	240-8	28.1	20.9726	19.3	34.4	66
	240-15	27.8	18.0477	22.3	36.1	522
	270-15	31.0	14.8288	27.9	34.3	50

현상은 지역별 사용 골재의 차이가 가장 큰 원인으로 분석되며 더불어 지역별 콘크리트의 배합기술 차이에 따른 원인도 고려되고 있다. 그러나 이러한 결과는 의미 있는 데이터로 활용하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단되며 특히 분산분석의 결과에서 유의도 높은 지역별 차이를 발견하기는 어려운 것으로 분석되었다.

한편 다음의 Table 8에서 보듯이 국내 시공사의 28일 압축강도는 95%의 신뢰수준에서 평균 28.2 MPa이고 오차범위는  $\pm 0.17262$ MPa로 분석되었다. 이를 지역적으로 살펴보면 수도권이 평균 29.4MPa로 가장 높게 나타나고 있으며, 강원권이 평균 27.5MPa로 가장 낮은 압축강도를 보이고 있다. 특히 충청권은 전체 28일 압축강도의 평균치에 가장 근접하면서도 표준편차가 1.5MPa로 안정적인 고른 압축강도를 유지하고 있는 것으로 분석되고 있다.

한편 28일 압축강도에서 이러한 지역적인 차이가 나타나고 있는가를 Table 9와 같이 분산분석을 이용하여, 이 표에서 집단간 제곱합 90583.191을 자유도 2로 나눌 때 평균제곱은 45291.595이며, F값은 50.516으로 이 값은 집단간 평균제곱을 집단내 평균제곱으로 나눔으로써 구할 수 있다. 분석결과 유의확률이 0.000이므로 분산이 동일하다는 즉, 지역별로

Table 8 지역별 28일 압축강도의 신뢰구간

지역	도수	평균	표준편차	표준오차	평균에 대한 95% 신뢰구간	
					하한값	상한값
수도권	288	29.4	3.57162	0.21046	28.97743	29.80591
충청권	268	28.9	1.51384	0.09247	28.69704	29.06117
강원권	615	27.5	3.15713	0.11984	27.23113	27.70173

Table 9 28일 압축강도의 지역별 분산분석

28일 강도		제곱합	자유도	평균제곱	F	유의 확률	
집단간	(조합됨)	90583.191	2	45291.595	50.516	0.000	
	신형형	가중되지 않음	75441.496	1	75441.496	84.143	0.000
		가중됨	86499.174	1	86499.174	96.476	0.000
		편차	4084.017	1	4084.017	4.555	0.033
집단내		1118043.072	1168	896.586			
합계		1208626.263	1170				

Table 10 28일 압축강도의 지역별 사후검증-다중비교

종속변수 : 28일 강도		평균차 (I-J)	표준 오차	유의 확률	95% 신뢰구간	
(I)	(J)				하한값	상한값
수도권	충청권	5.1256	2.5414	0.131	-1.1025	11.3538
	강원권*	19.2524	2.0988	0.000	14.1088	24.3960
충청권	수도권	-5.1256	2.5414	0.131	-11.3538	1.1025
	강원권*	14.1268	2.1535	0.000	8.8493	19.4042
강원권	수도권*	-19.2524	2.0988	0.000	-24.3960	-14.1088
	충청권*	-14.1268	2.1535	0.000	-19.4042	-8.8493

\* 95% 신뢰수준에서 평균의 차이가 나타나고 있음.

28일 압축강도는 차이가 없다는 귀무가설은 기각되며 '28일 압축강도는 지역에 따라 차이가 있다'라는 연구가설이 채택된다. 다시 말하면 수도권, 충청권, 강원권의 세 집단간에는 28일 압축강도에 통계적으로 유의한 차이가 존재함을 알 수 있다. 특히 집단간 차이가 존재할 때 정확하게 어떤 집단에서 그 차이가 존재하는지를 구체적으로 확인하는 과정으로 Table 10과 같이 Scheffe 방법을 이용한 사후검정을 선택하였다. 그 결과 수도권과 강원권, 충청권과 강원권이 유의수준 0.000으로 차이가 나타나고 있는 것을 확인할 수 있었다.

지역에 따라 레미콘의 압축강도의 차이가 나타나는 것은 콘크리트 제조시 사용하는 골재의 품질의 차이와 제조회사마다 같은 규격의 콘크리트를 생산하기 위한 배합기술이 서로 다른 것에 기인하는 것으로 판단된다.

### 4.3 계절별 압축강도

Table 11은 타설된 콘크리트를 계절별로 분석한 것으로 전체적으로 28일 압축강도는 95%의 신뢰수준에서 28.2MPa이고 오차범위는 ±0.17262MPa로 나타났으며, 3월~5월이 평균 28.8MPa로 표준오차가 ±0.29324MPa로 가장 낮게 나타났고, 12월~2월이 평균 27.9MPa로 표준오차가 ±0.417505MPa로 가장 높게 나타났다. 또한 6월~8월, 9월~11월에는 각각 28.0MPa과 27.8MPa로 나타나며 오차범위도 각각 ±0.305685 MPa과 ±0.364835MPa로 나타났다.

표준편차의 경우 9월~11월의 경우 가장 높은 3.60744을 보였으며, 3월~5월에는 2.89179, 6월~8월에 2.80986, 12월~2월 2.74925을 보였다.

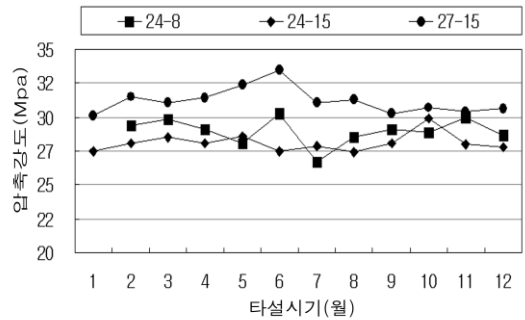


Fig. 7 규격별 콘크리트의 타설시기별 재령28일 압축강도

Table 11 계절별 28일 압축강도의 신뢰구간

계절	도수	평균	표준편차	표준오차	평균에 대한 95% 신뢰구간	
					하한값	상한값
3월~5월	355	28.8	2.89179	0.14913	28.51447	29.10095
6월~8월	307	28.0	2.80986	0.15539	27.78881	28.40018
9월~11월	357	27.8	3.60744	0.18555	27.49284	28.22251
12월~2월	152	27.9	2.74925	0.21148	27.49551	28.33052

한편 계절별로 28일 압축강도가 어떤 차이를 가지고 있는 가를 Table 12와 같이 분산분석을 이용하며 살펴본 결과, 유의확률이 0.000으로 28일 압축강도는 계절에 따라 차이가 있는 것으로 조사되었다.

Table 12 28일 압축강도의 계절별 분산분석

28일 강도		제곱합	자유도	평균제곱	F	유의 확률	
집단간	(조합됨)	20051.080	3	6683.693	7.007	0.000	
	신형항	가중되지 않음	10292.282	1	10292.282	10.790	0.001
		가중됨	15770.784	1	15770.784	16.533	0.000
		편차	4280.296	2	2140.148	2.244	0.107
집단-내		1188575.184	1167	953.913			
합계		1208626.263	1170				

Table 13 28일 압축강도의 계절별 사후검증-다중비교

종속변수 : 28일 강도		평균차 (I-J)	표준 오차	유의 확률	95% 신뢰구간	
(I)	(J)				하한값	상한값
3월 ~5월	6월~8월	7.1322*	2.3354	0.026	0.5946	13.6697
	9월~11월	9.5004*	2.2496	0.001	3.2032	15.7977
	12월~2월	8.9470*	2.8603	0.021	0.9400	16.9539
6월 ~8월	3월~5월	-7.1322*	2.3354	0.026	-13.6697	-0.5946
	9월~11월	2.3682	2.3325	0.794	-4.1613	8.8977
	12월~2월	1.8148	2.9260	0.943	-6.3761	10.0056
9월 ~11월	3월~5월	-9.5004*	2.2496	0.001	-15.7977	-3.2032
	6월~8월	-2.3682	2.3325	0.794	-8.8977	4.1613
	12월~2월	-0.5535	2.8580	0.998	-8.5538	7.4469
12월 ~2월	3월~5월	-8.9470*	2.8603	0.021	-16.9539	-0.9400
	6월~8월	-1.8148	2.9260	0.943	-10.0056	6.3761
	9월~11월	0.5535	2.8580	0.998	-7.4469	8.5538

\* 95% 신뢰수준에서 평균의 차이가 나타나고 있음.

또한 Table 13과 같이 Scheffe 방법을 이용한 사후검정의 결과 3월~5월은 6월~8월과 9월~11월 및 12월~2월과 유의적인 차이가 나타나고 있는 것을 확인 할 수 있었다.

표준오차의 경우 목표강도에 대한 실제 압축강도의 정확성을 나타내는 것으로 12월~2월에서 상대적으로 압축강도의 정확성이 떨어지는 것으로 판단된다.

표준편차의 경우 9월~11월에서 가장 높은 값을 보였으며 이는 타 기간에 비해 상대적으로 높은 일교차와 이에 비해 특별한 양생 등의 관리 기법이 없는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

따라서 콘크리트의 압축강도는 계절적인 기온의 영향을 받는 것으로 판단되며, 기온의 저하가 예상되는 시기에 많은 영향을 받는 것으로 분석되었다. 이는 콘

크리트 타설시와 양생시의 온도유지가 콘크리트의 압축강도에 중요한 관계를 나타내는 것에 기인하는 것이라 판단되어 12월~2월의 현장 타설시 동절기공사 시방에 따른 보양시설을 설치하여 콘크리트의 양생을 위한 일정 온도를 유지하는 것과 함께 9월~11월의 경우 기온 변화에 대한 콘크리트 보양시설을 보완하는 방안이 되는 것이 안정적인 콘크리트 품질을 확보하는데 바람직한 것으로 판단된다.

#### 4.4 7일 및 28일 압축강도의 관계

7일 압축강도를 사용하여 28일 압축강도를 추정하는 아래의 식(1)을 이용하여 본 연구에서는 현장에서 28일 압축강도 값을 가지고 7일 압축강도값을 추정하여 구한 다음 실제 조사된 7일 강도값과의 차이(조사된 7일 압축강도 - 추정된 7일 압축강도)를 분석하여 본 결과 Table 14와 같이 나타나고 있다.

$$F_{28} = 1.35 \cdot F_7 + 3 \text{ (MPa)} \quad (1)$$

(JASS 5T-602, 보통포틀랜드시멘트 사용시)

Table 14에 나타난 바와 같이 7일 압축강도는 평균 1.8MPa이상 차이를 나타내며 95%의 신뢰수준에서 오차범위는 ±0.10491MPa이며, 규격별로는 24-15가 2.0MPa로 오차범위는 ±0.12055MPa로 가장 높게 나타났으며, 24-8이 1.2MPa로 오차범위 ±0.28219MPa로 가장 낮게 나타났다. 또한 27-15는 1.4MPa로 오차범위는 ±0.29122MPa로 나타났다. 이러한 차이가 나타나는 것은 28일 강도의 값을 이용하여 7일 강도를 추정하였으나 조사된 28일 강도가 기준강도보다 높은 값을 가지고 있어 이 값으로 7

Table 14 식(1)에 의한 추정값과 본자료값의 차이에 대한 신뢰구간

규격	도수	평균	표준편차	표준오차	평균에 대한 95% 신뢰구간	
					하한값	상한값
24-8	124	1.28997	1.96662	0.14305	1.00778	1.57216
24-15	871	2.02010	1.81271	0.06142	1.89955	2.14066
27-15	176	1.47715	1.95752	0.14755	1.18593	1.76836



일 강도를 역으로 추정하여 본 결과 당연히 조사된 7일 강도가 높게 나올 수 밖에 없기 때문이다. 다시 말하면 조사된 7일 강도의 값이 높게 나타나기 때문에 당연히 28강도도 높게 나오며, 이러한 이유로 조사된 28일 강도로 7일 강도를 추정하였기 때문에 실제 조사된 7일 강도값보다 높게 나타날 수 밖에 없다.

따라서 Table 14의 평균값이 1.8MPa이상 높게 나타나는 것은 관리적 차원에서 과도한 생산비용이 증대되며, 결국 생산원가에 영향을 미칠 수 있기 때문에 전체규격에서 하한값(1.7262318MPa)을 0의 값에 가깝게 유지할 수 있는 전략적인 관리가 필요하다고 생각되어 진다. 즉, 조사된 7일 강도의 값이 적정한 값(평균적으로 조사된 7일 강도값-1.7MPa)으로 유지되는 것이 결국 경제적으로 기준강도 및 28일 강도를 확보할 수 있는 것을 기대 할 수 있다.

그러나 콘크리트 7일 압축강도가 평균값 보다 1.8MPa이상 나타나 높은 28일 강도의 추정값을 기대할 수 있기 때문에 거푸집의 조기탈형으로 공기단축으로 인한 비용절감의 효과를 얻을 수 있을 것이다. 여기서 압축강도와 슬럼프가 높을수록 7일 압축강도의 평균값이 낮게 나타났으므로 고강도콘크리트 일수록 보다 많은 품질관리에 주의를 요한다.

또한 7일 및 28일 압축강도의 상관분석 결과, 아래의 식으로 분석되었으며 이는 JASS 5T-602의 식과는 어느 정도의 차이를 보이고 있다. 이러한 이유는 앞서 살펴 본바와 같이 조사된 7일 강도의 값이 평균 1.8MPa이상 높은 값을 가지고 있었기 때문으로 보인다. 이를 지역별로 상관분석을 하여 본 결과 아래와 같이 요약할 수 있다.

$$F_{28} = 0.826F_7 + 11.2927 \quad (R^2=0.554) \quad (\text{전체})$$

$$F_{28} = 0.819F_7 + 11.2337 \quad (R^2=0.589) \quad (\text{수도권})$$

$$F_{28} = 0.862F_7 + 12.1343 \quad (R^2=0.559) \quad (\text{충청권})$$

$$F_{28} = 0.918F_7 + 8.9198 \quad (R^2=0.603) \quad (\text{강원권})$$

한편 (1)식을 사용하여 28일 압축강도값( $F_{28}$  = 4MPa 기준)을 기준으로 한 후, 7일 압축강도( $F_7$  =  $(F_{28} - 3\text{MPa})/1.35$ )값을 추정 산출하면 7일 압축강도가 약 15.5MPa로 나타난다.

Table 15 규격별 7일 압축강도의 신뢰구간

규격	도수	평균	표준편차	표준오차	평균에 대한 95% 신뢰구간	
					하한값	상한값
240-8	124	18.3	4.28141	0.31143	17.64016	18.86884
240-15	871	20.6	1.84056	0.06236	20.50492	20.74973
270-15	176	22.6	2.63365	0.19852	22.21161	22.99521
합 계	1171	20.5	2.75158	0.07827	20.39233	20.69942

Table 15에서 24-15 규격의 7일 압축강도의 평균값은 20.6MPa로 식(1)으로 구한 7일 압축강도 15.5MPa 보다 약 33%이상 나타났으며, 같은 방법으로 27-15 규격에서도 약 15.7% $((22.6-17.8)/17.8)$  이상 높게 나타났다.

한편 본 연구에 사용된 자료에서 7일 압축강도를 식 1에 대입하여 28일 압축강도를 추정하여 본 결과, 조사된 28일 압축강도가 식에 의한 28일 압축강도보다 높게 나타났다. 이러한 이유는 일반적으로 검증된 식1은 조사자료에는 28일 압축강도의 추정값을 정확히 예측할 수 없기 때문인 것으로 사료되어 진다. 따라서 조사한 자료에서 7일 압축강도로 28일 압축강도 추정값을 나타내는 수식을 구하여 보면 다음과 같이 나타낼 수 있었다.

$$F_{28} = 1.017 \cdot F_7 + 3 \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

단,  $F_{28}$  = 28일 압축강도(24MPa을 기준)  
 $x$  = 1.017  
 $F_7$  = 7일 압축강도(MPa)  
 $3$  = 일반포틀랜드 및 혼합시멘트시의 상수

참고로 계수  $x(1.017)$ 를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$F_{28} = x \cdot F_7 + 3 \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

단,  $x = \{F_{28}(\text{설계기준강도}) - 3\} / F_7$   
 $x = (24 - 3) / F_7$

이에 식(1)과 식(2)을 비교해보면 식(2)에서  $F_7$ 의 계수가 낮게 나타나는데 이것은 초기 7일 압축강도가 식(1)보다 높게 나타났기 때문이며 초기강도가 높은 품질관리의 신뢰성을 바탕으로 습윤양생 보양관리가 철저히 이루어 졌음을 의미하는 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

현장 타설 콘크리트의 품질 특성에 대하여 조사된 자료를 기초로 통계적 분석에 의한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- 1) 전체 대상 콘크리트 중에서 설계기준강도 24MPa, 슬럼프 15cm가 전체의 74%를 차지하여 가장 사용빈도가 높게 나타났으며, 타설시기는 주로 4월과 10월을 중심으로 한 봄과 가을철로 나타났다.
- 2) 슬럼프값의 경우 규격보다 평균 1.0cm정도 높은 값을 나타내고 있었으며, 지역이나 타설시기에 따라서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 또한 기초를 포함한 지하층 공사에 있어서는 8cm 규격을 지상층 공사에 있어서는 작업성을 고려하여 15cm 규격을 대부분 사용하고 있는 것으로 나타났다.
- 3) 공기량의 경우 전체 평균 4.18%의 값을 나타내었으며, 슬럼프값이 낮을수록 공기량이 약간 증가하는 경향을 나타내었다.
- 4) 재령 28일 압축강도는 콘크리트 규격에 따라 각각 24-8의 경우 29MPa, 24-15의 경우 28.1MPa, 27-15의 경우 31.5MPa의 평균값을 나타내었다.
- 5) 수도권, 충청권, 강원권으로 분류한 지역별 압축강도의 경우 28일 압축강도가 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이는 지역별로 사용하는 골재의 종류 및 제조사별 배합기술의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.
- 6) 계절에 따른 압축강도는 9월~11월, 12월~2월에서 각각 표준오차 및 표준편차가 큰 것으로 나타나 계절에 따른 기온의 저하가 예상되는 시기에 많은 영향을 받는 것으로 분석되었다. 이는 콘크리트 타설시와 양생시의 온도유지가 콘크리트의 압

축강도에 중요한 관계를 나타내는 것에 기인하는 것이라 판단되어 타설 후 양생에 대한 관리가 필요함을 보여준다.

- 7) 타설시기에 따른 재령 28일 압축강도의 경우 계절에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 3월에서 5월 사이에 타설된 것이 가장 높게 나타나고 이후로는 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 기온에 따른 보양방법 및 품질관리 정도의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.
- 8) 본 연구 대상 자료를 사용하여 재령 7일과 28일 압축강도의 관계를 기존의 식(JASS 5T-602)을 수정하여 다음과 같이 제시하였다.

$$F_{28} = 1.017 \cdot F_7 + 3 \text{ (MPa)}$$

이상과 같은 연구를 통하여 현장에 타설된 콘크리트의 품질 분포 특성을 통계적 방법을 이용하여 정량적으로 분석해 보았으며, 향후 품질 변동 원인의 규명을 위하여 좀 더 많은 구체적인 자료의 확보와 함께 다각적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 '2002 건국대학교 학술연구비지원'에 의한 것이며, 이에 대하여 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 레미콘 산업의 현황과 기술 개발 동향, 콘크리트학회지, 제5권 제3호, 1993. 9.
2. 최민수, 레미콘의 품질문제와 대책, 대한건축학회지, 1994. 10.
3. 오태진, 현장타설 레미콘의 강도특성에 영향을 미치는 요인에 관한 연구, 대전산업대 석사학위논문, 1997.
4. 김세환, 현장에서의 콘크리트 품질관리 및 강도 비교 연구, 연세대학교 석사학위논문, 1996.

금행(접수일자 : 2007년 5월 21일)