

# “콘크리트 강도”의 분석

(Analysis of Concrete Strength)

성균관 대학교 건축 공학과  
교수 김 용 부\*

## 1. 머 리 말

철근 콘크리트 구조 부재에서 철근은 인장에 그리고 콘크리트는 압축에 대처하는 구실을 한다. 철근은 제강소에서 용의 주도하게 관리되는 조건하에 생산되므로 균질한 재료로 볼 수 있지만 콘크리트는 어디에서 만들어지든지 시멘트, 골재 및 물을 혼합하여 만들고 생 콘크리트 상태에서 타설되므로 구성재료의 이동과 분리등으로 아주 불균질한 성질을 갖게 된다. 그러므로 같은 배합 설계에 의해 목표한 강도가 나오도록 만든 콘크리트 일지라도 강도를 평가하기 위해 시험체를 만들어 시험해 보면 콘크리트 고유의 속성 때문에 시험 결과는 모두 다른 것이 대부분이다. 그러므로 설계된 콘크리트강도가 고르게 얻어지는 것이 바람직하지만 실제로는 그렇게 되지 않으므로 만든 콘크리트가 과연 어떠한 것인지 분석해 볼 필요가 있다.

표 1은 어떤 배합설계에 의해 만들어진 콘크리트중에서 그의 강도를 알아보기 위해 100개의 콘크리트시험체(cube)를 만들어서 시험한 강도시험의 한 결과이다.

위의 결과를 보고 이 콘크리트의 강도를 평가한다면 어떤 한 강도의 콘크리트라고 말할 수 있을 것인가? 이상적으로 만든 콘크리트로서 100개의 시험체의 결과가 거의 같은 강도

표 1 100개 콘크리트 큐브 시험 강도(kg/cm<sup>2</sup>)

305	400	310	350	365	265	325	330	310	360
290	360	270	355	215	320	420	290	395	315
415	385	320	340	295	320	280	295	385	390
450	250	340	365	325	385	320	375	340	265
360	325	270	275	305	335	315	390	335	340
250	395	330	375	345	390	345	295	300	280
345	305	355	350	365	375	325	395	380	360
360	415	265	370	300	270	330	295	280	365
285	235	350	320	380	335	365	315	350	250
330	365	320	265	320	355	395	345	325	265

라면 더 이상 바랄 것이 없을 것이다. 그러나 현실은 간단히 그렇지 않다. 결과 중 강도가 가장 높게 나온 것은 450kg/cm<sup>2</sup>(이하 단위는 생략한다)이고 가장 낮게 나온것은 215였다. 그들간의 차는 무려 235이다.

100개의 강도의 산술평균 값은 약 332이다. 그러면 과연 이 콘크리트의 강도는 얼마라고 말할 수 있는가? 설계기준강도(specified design strength)를 215이라고 하면 100% 안전성을 보장할 수 있지만 너무나 비경제적 일 것이며 450으로 하면 안전성이 거이 없을 것이며 332로 하면 안전한 확률과 불안정한 확률이 각각 0.5이므로 도저히 설계기준강도로 채택할 수 없을 것이다. 보통 채택할 수 있는 설계기준강도와 배합설계강도(required average strength 혹은 target mean strength)를 어떠한 강도로

하면 되는지 위의 자료를 갖고 분석해 보기로 한다.

## 2. 콘크리트 강도의 분석

제 멋대로의 천차 만별한 시험 결과치로부터 그의 강도를 분석하기 위해서는 자료가 쉽게 이해되고 또한 쉽게 이용되는 형태로 해야 한다.

### 2.1 강도의 변화(Variation in Strength)

시험에서 얻은 모든 강도는 실제적으로 다

르게 마련이다. 많은 수의 강도 시험에서 강도의 변화는 이론적인 고려로 계산된 변화와 거의 일치함을 알 수 있게 될 것이다. 시험강도수가 많지 않을 경우 그들간의 일치성은 떨어지지만 편의상(많은 강도에 대한) 확률이론으로부터 개발된 개념은 적용되고 또 자료를 개괄(summarizing)하고 이용(utilizing)하는데 이는 상당히 유용한 수단이 된다.

상기한 100개의 콘크리트 강도를 분석해 본다. 시험한 결과를 하나 하나 그대로 나열한 강도를 비분류자료(ungrouped data)라고 부른다. 그런데 이 비분류자료를 갖고는 자료의 일

표 2 100개 콘크리트 강도표

강도 순서	강도	강도 순서	강도	강도 순서	강도	강도 순서	강도
1	215	26	300	51	335	76	365
2	235	27	305	52	335	77	365
3	250	28	305	53	335	78	365
4	250	29	305	54	340	79	365
5	250	30	310	55	340	80	370
6	265	31	310	56	340	81	375
7	265	32	315	57	340	82	375
8	265	33	315	58	345	83	375
9	265	34	315	59	345	84	375
10	265	35	320	60	345	85	380
11	270	36	320	61	345	86	385
12	270	37	320	62	350	87	385
13	270	38	320	63	350	88	385
14	275	39	320	64	350	89	390
15	280	40	320	65	350	90	390
16	280	41	320	66	355	91	390
17	280	42	325	67	355	92	395
18	285	43	325	68	355	93	395
19	290	44	325	69	360	94	395
20	290	45	325	70	360	95	395
21	295	46	325	71	360	96	400
22	295	47	330	72	360	97	415
23	295	48	330	73	360	98	415
24	295	49	330	74	365	99	420
25	300	50	330	75	365	100	450

반적인 범위와 분포상황을 파악하는 데 좀 어려움이 있고 그리고 자료 중에서 어떤 강도는 다른 강도보다 일어 나는 횟수가 많음을 알 수 있다. 더우기 자료를 분석 하는 데는 이 단계에서는 어려움이 있다.

새로 입학한 국민학교 학생을 담임 선생이 학생의 책상 자리를 정할 때 키가 작은 학생부터 차례대로 책상 좌석을 정하는 방법을 생각해 본다. 반 학생을 모두 운동장에 키 순으로 정렬 시킨다. 이 때 키가 작은 사람부터 키가 큰 사람순으로 서게 한다. 그다음 책상줄 수만큼 학생을 모임으로 나누어서 첫 줄부터 책상에 앉게하면 쉽게 키 크기순으로 자기 자리가 정해 지게 된다.

마찬가지로 콘크리트강도도 크기순(보통 커지는 순서)으로 정리해본다. 이렇게 정리 한 것은 비분류빈도분포(ungrouped frequency distribution)이라고 한다. 이것을 한번 훑어 보 기만 해도 최소치(215)와 최고치 (450)를 쉽게 알 수 있고 또 간단한 계산으로 중앙치 (median)와 범위 (range)를 알 수 있다. 표2 는 100개 콘크리트강도 비분류빈도(頻度)분포 표이고 표3은 표2로부터 각 강도와 그의 빈도를 나타 낸것이다.

## 2.2 분류 빈도(Grouped Frequency)

강도 자료를 좀더 이해하기 위해서는 자료를 더 처리해야 하는데 함축된 표를 만들거나 그래프를 그리면 도움이 된다.

### 가. 자료의 분류(Grouping of Data)

자료를 이해하기 위해 첫 단계로 해야 할 일은 자료의 분류이다.

강도 시험을 한 자료는 크기에 따라 무리 짓게 한다. 크기에 따르는 무리의 대칭적 배열을 빈도 분포계(frequency distribution series)라 한다.

자료를 어떤 간격으로 나누어 분류 하는 것이 유용하다. 나눈것을 조(組)간격(class interval)이라 부른다. 간격이 결정되고 각 간격내에 있는 자료의 수를 조빈도(class frequency)라 한다. 그리고 이 조빈도를 자료 전체 수로

표 3 100개 콘크리트 강도와 그의 빈도

강 도	빈 도	빈도 누계
215	1	1
235	1	2
250	3	5
265	5	10
270	3	13
275	1	14
280	3	17
285	1	18
290	2	20
295	4	24
300	2	26
305	3	29
310	2	31
315	3	34
320	7	41
325	5	46
330	4	50
335	3	53
340	4	57
345	4	61
350	4	65
355	3	68
360	5	73
365	6	79
370	1	80
375	3	83
380	2	85
385	3	88
390	3	91
395	4	95
400	1	96
415	2	98
420	1	99
450	1	100
합 계	100	

나눈것을 상대빈도(relative frequency)라 한다. 이 값은 중요한 어떤 값(여기서는 설계 기준 강도)의 이상 혹은 이하를 즉 여기서는 “전체

표 4 100개의 콘크리트 강도 분류 빈도(간격이 20이고 조 간격수가 13개인 경우)

콘크리트 강도 kg/cm <sup>2</sup>		조 빈도	상대 빈도	누가 빈도	상대 누가빈도	빈도 X중간치
조 간격	중간치					
200-220	210	1	0.010	1	0.010	210
220-240	230	1	0.010	2	0.020	230
240-260	250	3	0.030	5	0.050	750
260-280	270	9	0.090	14	0.140	2430
280-300	290	10	0.100	24	0.240	2900
300-320	310	10	0.100	34	0.340	3100
320-340	330	19	0.190	53	0.530	6270
340-360	350	15	0.150	68	0.680	5250
360-380	370	15	0.150	83	0.830	5550
380-400	390	12	0.120	95	0.950	4680
400-420	410	3	0.030	98	0.980	1230
420-440	430	1	0.010	99	0.990	430
440-460	450	1	0.010	100	1.000	450
합 계		100	1.000			33480

의 일부분 모자람(fraction defective)”를 다룰 때 이용 된다.

표 4는 100개의 콘크리트 강도 자료에 대한 분류 빈도를 나타내고 있다.

자료의 수가 많을 때에는 조 간격수는 13~20개가 바람직 하다\*. 조 간격수가 너무 많으면 불규칙한 분포도가 그려지고(그림 1. 참조) 보다 큰 간격으로 그리면 분포 모양이 개선 된다(그림 2. 참조) 그림 1과 2는 100개 강도의 막대 그래프이다. 여기서는 13조로 하여 처리하였다. 어떤 경우 일정한 값 아래(혹은위)에 있는 자료의 수를 알 필요가 있다. 이 경우 누가 빈도 혹은 상대 누가 빈도를 보면 된다. 상대 누가 빈도는 누가 빈도를 자료의 전체수로 나누어 얻는다. 빈도와 조 간격중간치를 곱한 것의 총합은 근사적 산술 평균치를 구하는데 쓰인다.

그림 3은 누가빈도도(cumulative frequency diagram)이다. 이 그림에서 예를 들면 100개

중 32개의(혹은 32%) 콘크리트 강도가 360를 초과함을 알 수 있고 68개(68%)가 360를 미달함을 알 수 있다.

나. 빈도도(頻度圖)

도식 표현은 보통 자료의 성질을 시각화(視覺化)하는데 도움이 된다. 조 간격과 빈도표에 따라 100개의 콘크리트 강도의 빈도 막대 그래프를 그렸다. 그림 1은 조 간격수가 24개의 경우이고 그림 2는 13개의 경우이다. 그림 2의 경우가 정규 분포형에 가깝다. 그림2의 점선은 정규 분포 곡선(normal distribution curve)을 나타낸다.

재료 시험에 보통 관계하는 분포는 이론적인 정규 빈도 곡선을 닮은 종 모양의 곡선이다. 정규 빈도 곡선은 1733년 Demoiivre에 의해 처음 사용되었다. 이 곡선은 확률곡선 혹은 오차의곡선 등으로 알려져 있는데  $y = Ke^{-hx}$  이라는 식으로 표현 된다. 여기서 y는 오차 x가 일어나는 확률이고 h와 k는 곡선의 퍼짐(spread)과 높이를 각각 나타내는 상수이다. 그림 4는 정규 분포 곡선의 모양을 나타낸 것이다.

\* Shewhart, W. A : Economic Control of Quality of Manufactured Product, Van Nosrand, New York, 1931.

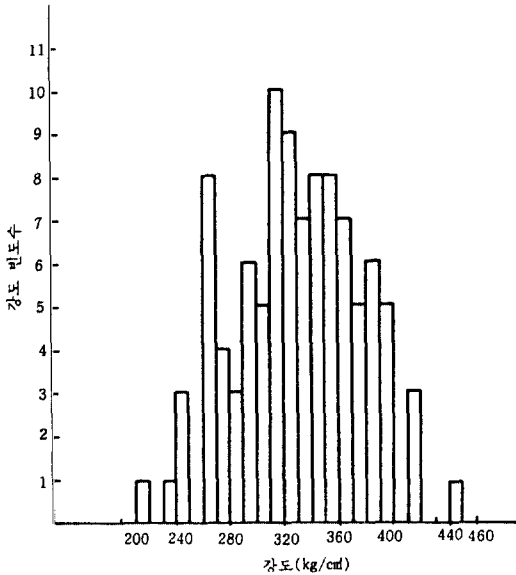


그림 1 100개 강도의 막대그래프  
(간격이 10이고 조간격수 24개 일때)

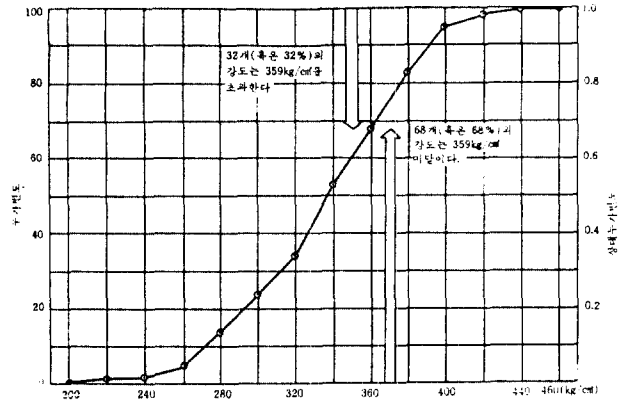
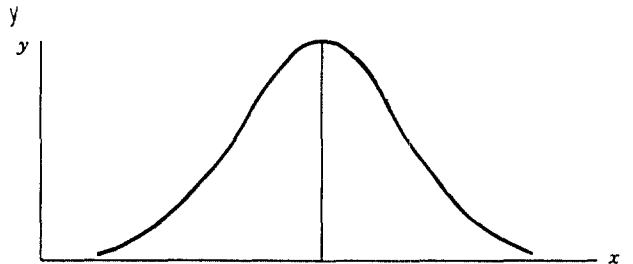


그림 3 누가빈도도



평균

그림 4 정규분포곡선

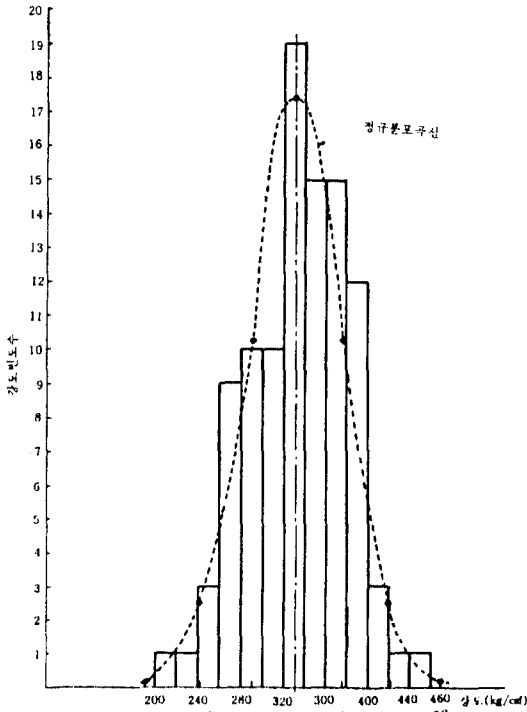


그림 2 100개 강도의 막대 그래프와 정규 분포 곡선  
(간격이 20이고 조간격수가 13개 일때)

### 2. 3 분포 특성(Distribution Characteristics)

많은 자료가 몇가지 독특한 값으로 충분히 설명될 수 있다면 아주 도움이 될 것이다. 이러한 것 중에는 평균이나 편차의 개념, 즉 중앙치 경향(central tendency) 과 분산(dispersion) 이 있다.

#### 가. 중앙치 경향

중앙치 경향의 측정에는 평균치가 있다. 가장 중요한 평균치는 산술평균치, 중앙치(median) 및 최빈치(mode)등이 있다. 산술평균치는 중앙치 경향의 기준으로 가장 널리 사용된다.

$\bar{X}$ 를 산술 평균치라 하면

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \text{ 이다.}$$

여기서  $\bar{X}$ 는  $\frac{305+400+310+\dots+265}{100} = 332.2$ 으로 계산된다.

또한 표 4의 33480값을 이용하면 정확성이 조금 떨어지지만 근사평균치가 구해진다.

즉  $\bar{X} = 33480/100 = 334.8$ 이다.

산술 평균치는 각 자료의 영향을 받는데 작은 쪽, 큰 쪽의 가장 자리에 있는 예외적인 값의 크기에 따라 歪曲되는 경우가 있다.

중앙치는 크기순 배열에서 가운데 있는 값이다. 배열에서 가운데 있는 값들이 밀집하게 모여 있으면 중앙치는 양쪽 끝 쪽의 예외적인 값의 영향을 거의 받지 않기 때문에 대표적인 평균치가 된다. 여기에서 중앙치는 자료수가 100개이므로 50번째의 330과 51번째의 335의 평균치가 즉  $(330+335)/2=332.5$ 가 된다.

최빈치는 한 덩어리의 자료에서 얻게 되는데 가장 많이 일어난 강도를 말한다. 예를 들면 표4에서 최대빈도 19개 생기는 자료는 중앙 값이 330인 한덩어리의 자료에서 일어났다. 그러므로 최빈치는 약 330이다. 여기서는 평균치가 최빈치와 중앙치 사이에 있다. 정규 분포 곡선에서는 평균치, 중앙치 및 최빈치는 물론 같다.

## 나. 분산

빈도 곡선(frequency diagram)은 분산, 호트러짐 혹은 평균치에 대한 변화의 중요한 특징의 질적 지표를 제공한다.

범위(range 혹은 spread)는 평균치로 부터의 대략적인 편차를 말해준다. 범위는 최고치와 최소치의 차를 말하는데 양단의 값에 의해 얻어 지기 때문에 분포를 잘못 이해하게 하는 경향이 있다. 여기에서 범위는  $450-215=235$ 이다.

각 강도의 위치를 고려하는 기준은 의미있는 것이다. 알기 쉽게 편차의 개념은 중앙치에 대한 강도의 평균 편차일 것이다. 만약 산술적으로 正負거리가 사용되면 평균 편차는 0이 될 것이다. 그러나 편차를 생각할 때는 거리의 부호는 무시함으로써 편차가 구해진다. 평균편

차(average deviation)는 분산의 한 척도가 되는데 다음식으로 구해진다.

$$\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{100} |X_i - \bar{X}|}{100} = 36.7$$

표준편차(standard deviation)는 분산의 척도로서는 가장 중요하여 많이 쓰인다. 표준편차는 평균편차의 특별한 경우이다. 표준편차 s는 다음 식으로 구한다.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{207516}{100-1}} = 45.78$$

표준편차는 모든 강도에 대해 제곱을 사용하고 있으므로 평균편차때보다는 멀리에 분산된 강도에 더 중점을 두고 있음을 알 수 있다. 표준 분포에 있어서는 평균편차는 0.7979s의 관계가 있는데 여기서는 0.8017s로 계산되었다. 표준편차의 중요한 특징은 강도(자료)의 수 혹은 정규 분포 곡선 중앙(대칭)선에서 s, 2s, 3s만큼 양쪽으로 잡은 세로선 사이의 면적으로 말할 수 있다(그림5 참조). 그림5에서 정규(이론)확률곡선이 보여 주고 있는 바와 같이 이들 수 혹은 면적은 각각 68.26, 95.44 및 99.73%가 된다. 예를 들면 중앙치를 기준으로 좌우로 표준편차 s만큼 잡은 범위내에 있는 시험체수는 68.26%이다. 함축성 있는 비교는 절대적인 측정으로 알 수 없으므로 비율 혹은 퍼센트로 변동(variation)을 사용하면 도움이 된다. 변동계수 v는 다음과 같이 계산한다.(표 7 참조)

$$v = \frac{s}{\bar{X}} = \frac{45.78}{332.2} = 0.138 \text{ 혹은 } 13.8\% \text{ 이다.}$$

## 다. 歪曲度(Skewness)

歪曲度는 정규 분포 곡선의 비 대칭의 정도를 나타내는 척도이다. k를 의곡도라 하면

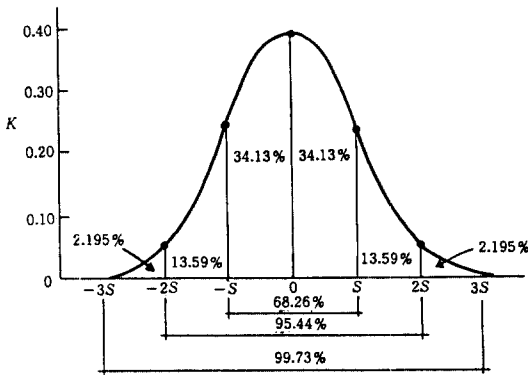


그림 5 정규 분포 곡선의 특성

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{ns^3}$$

으로 구한다. 간단하게는 다음식으로 구할 수 있다.

$$k = \frac{\bar{X} - \text{mode}}{s} = \frac{332.2 - 330}{45.78} = 0.048$$

대칭형 곡선에서는 k는 분명히 0이다. k가 正이면 오른쪽으로 歪曲되어 있고 負이면 왼쪽으로 歪曲되어 있음을 나타낸다. 자료의 수가 250개 이상이 아니면 k는 큰뜻이 없다.

#### 2. 4 정규 분포 곡선

100개의 강도 시험에 의해 그린 막대 그래프와 강도자료를 근거로 한 정규분포 곡선과의 관계를 알아 보기로 한다. 전술한 바와 같이 정규 분포 곡선의 식은 다음과 같다.

$$y = Ke^{-kx}$$

여기에서  $k = \frac{h}{\sqrt{\pi}}$  이고 변용된 식은 다음과 같은 것이 있다.

$$y = \frac{KnI}{s} = \frac{K(100)20}{45.78}$$

여기에서 n은 자료의 수, I는 막대 그래프 계급간격의 크기이고 s가 표준편차이다. K의

표 5 K의 값

x	K
$\bar{X}$ (중앙)	0.39894
$\bar{X} \pm 0.5s$	0.35206
$\bar{X} \pm 1.2s$	0.24197
$\bar{X} \pm 1.5s$	0.12953
$\bar{X} \pm 2.0s$	0.05399
$\bar{X} \pm 2.5s$	0.01753
$\bar{X} \pm 3.0s$	0.00443
$\bar{X} \pm \infty$	0.00000

값은 x의 값에 따라 다음 표 5와 같이 된다.

x와 y의 값에 의해 정규분포곡선이 그려지게 된다(그림 4참조)의 곡도가 正으로 계산된 것은 정규 분포 곡선 오른쪽으로 막대 그림이 나와 있기 때문이다. 그러나 막대 그래프와 정규 분포 곡선은 거의 형태가 비슷하므로 정규 분포 곡선을 기준으로 하여 콘크리트 강도 특성을 말할 수 있게 된다. 채택한 x값에 따라 y의 값을 구하면 다음 표6과 같다.

#### 2.5 콘크리트 설계 기준 강도와 배합강도

어떤 콘크리트의 배합 설계에 의해 만든 콘크리트의 강도 시험 결과는 표1을 살펴보면 아주 천차만별임을 알 수 있었다. 알맞는(경제적이고 안전성이 있는)콘크리트를 만들기 위해서는 설계 기준 강도와 배합강도는 보통 어떻게 정하고, 그들 사이의 관계는 어떠한지에 대해 잘 알아야 하고 알맞는 품질관리를 하는데 참고 해야 한다.

표 6 x에 대한 y의 값

x	y
$\bar{X}$	17.4286
$\bar{X} \pm 0.5s$	15.3805
$\bar{X} \pm 1.0s$	10.5710
$\bar{X} \pm 1.5s$	5.6588
$\bar{X} \pm 2.0s$	2.3587
$\bar{X} \pm 2.5s$	0.7658
$\bar{X} \pm 3.0s$	0.1935
$\bar{X} \pm \infty$	0.0000

가. 설계 기준 강도와 배합 강도와의 관계  
 천차 만별인 콘크리트 강도는 표준 분포 곡선으로 나타내었을 때 중간강도(mean strength)보다 크기가 작은 콘크리트와 크기가 큰 콘크리트의 양은 각각 50%이다.

콘크리트 설계 기준 강도는 구조물의 안전성을 고려 해야 하기 때문에 경제적인 것도 고려 해서 중간 강도 보다 낮은 쪽에서 그것을 결정해야 할 것이다.

그림 6에서 곡선 아래의 면적은 시험체의 전체를 나타내고 어떤 설계 기준 강도 보다 작은 값의 부분은 설계 기준 강도를 표시한 수직선 왼편에 있는 빗금친 면적으로 나타내었다. 콘크리트 강도 분포는 표준 분포 곡선으로 표시 했을 때 실무에서는 어떤 퍼센트(%)의 강도 모자람(defectives)을 설정하여 그것을 기준으로 하여 설계 기준 강도를 정한다. 예를 들면 영국의 Unified Code of Practice CP110은 CEB/FIB international recommendation for the design and construction of concrete structures (1970)에 따라서 강도 모자람을 5%로 채택하고 있다.

만들어지는 콘크리트의 변화성 때문에 배합 설계는 여유(margin)를 두어 중간 강도(=배합강도)가 설계 기준 강도 보다 크게 되도록 정한다.

표 7 a의 값

모자람(%)	발생율	(a)
10.0	1/10	1.28
5.0	1/20	1.64
2.5	1/40	1.96
1.0	1/100	2.33

즉,

$$f'_{cr} = f'_c + as$$

여기에서  $f'_{cr}$  = 목표 평균 강도, 중간 강도, 혹은 배합 강도

$f'_c$  = 설계 기준 강도

a = 정수

s = 표준 편차

as = 여유(margin)

a는 정규 분포 곡선식에서 유도되는데 그 값은 표 7과 같다.

5%의 모자람(결함)을 택할경우 a = 1.64이므로 설계 기준 강도를 300으로 했을때 표준 편차가 61의 콘크리트의 경우 중간 강도 즉 배합강도는 400(=300+1.64×61)이 된다.

#### 나. 품질관리

콘크리트의 최종 품질은 철근과는 달라 현장이나 현장 가까이에서 생산되므로 많은 외적 요인에 좌우된다. 그러므로 계획적인 품질 관리가 현장에서 마련돼야 한다. 아무렇게나 만든 콘크리트보다 엄격하고 조직적인 품질 관리를 하여 만든 콘크리트는 강도 시험을 해 보면 강도 변화가 미소하다는 것이 명백하다. 따라서 계산되는 표준 편차도 작다.

설계 기준 강도와 중간 강도 사이의 여유는 표준 편차 즉 품질 관리 정도에 따라 달라지게 된다.

그림7은 품질관리정도에 따라 각각 그린 세 가지 정규 분포 곡선이다.

A곡선은 가장 좋은 관리 즉 가장 적은 분산을 하고 있어 가장 뾰족한 산봉우리 모양을

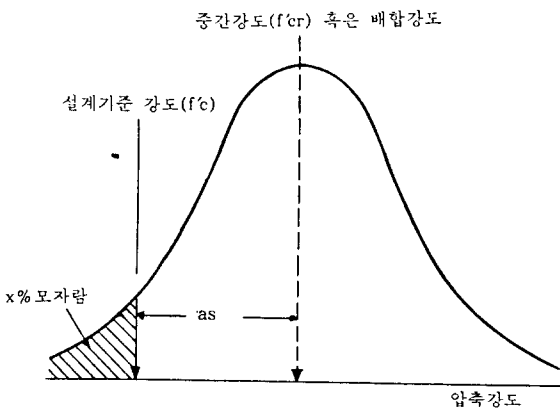


그림 6 콘크리트 압축강도의 정규 분포



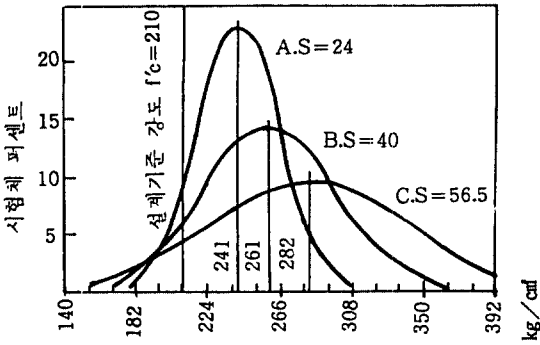


그림 7 품질관리가 다른 세가지 정규분포곡선

표 8 품질 관리와 강도와의 관계

품질 관리	설계 기준 강도	표준 편차	배합 강도	여유
A	210	24.0	240.72	30.72
B	210	40.0	261.2	51.2
C	210	56.5	282.32	72.32

하고 있고 C곡선은 가장 나쁜 관리를 하여 가장 많이 분산된 것을 나타내어 가장 완만한 봉우리 모양을 하고 있다. B곡선은 A와 C곡선의 중간 정도이다.

세 곡선의 강도와 표준 편차는 대략 표 8과 같다.

위 표에서 경제성을 비교 해볼때 A, B, 및 C품질 관리에서 모두 같은 설계 기준 강도

표 9 여러가지 품질관리와 추천 변동 계수

품질관리의 정도	변동 계수(%)
시험실에서 잘 조절할때만 가능	5
우, 시험실 精度에 접근한 경우	10
우(excellent)	12
양(good)	15
가(fair)	18
가하(fair minus)	20
나쁨(bad)	25

210에 대한 배합강도의 관계를 볼 때 품질관리가 가장 잘된 A의 경우는 여유가 30.72이고 배합강도가 240.72인 것에 비해 가장 나쁜 C의 경우는 여유가 72.32이고 배합강도 280.32인 것을 알 수 있다. 즉, C의 경우가 가장 비용이 많이 드는 콘크리트가 됨을 알 수 있다. 왜냐 하면 배합 강도를 크게 하려면 배합 강도가 작을 때보다 시멘트 양이 많이 소요되기 때문이다.

콘크리트의 품질 관리의 정도는 표준편차 또는 변동계수의 값을 보고 보통 평가한다. 예를 들면 보통 콘크리트에 대해 미국의 Road Note No. 4와 Walker가 추천한 품질 관리의 척도와 변동 계수는 표 9와 같다.

### 3. 맺는말

콘크리트 재료의 강도 속성은 대단히 불균질하다. 그래서 콘크리트강도를 분석한 결과 강도 분포가 고른 콘크리트를 생산하는 세심한 노력이 요망된다.

재료에 대한 혁명이 없는 한 여지껏 발명된 가장 좋고 중요한 재료인 콘크리트는 앞으로도 점진적으로 가장 많이 쓰이는 중요한 건설재료가 될 것이다. 콘크리트의 구성 재료인 시멘트의 생산량은 증가되고 있다. 각국의 국민 1인당 시멘트 생산량은 각양 각색이다. 예를 들면 후진국인 아프리카 제국에서는 25kg이하(1982)이고 가장 선진국이 많은 유럽제국에서는 700kg이상(1980)이다. 지금까지의 세계의 시멘트생산추세를 본다면 2000년에는 세계인구가 62억(U.N추정)이 된다고 할때 62억 인구 1인당 300kg이 생산될 전망이다. 막대한 양이며 따라서 콘크리트의 사용도 대단하다고 할 수 있다. 콘크리트는 가장 많이 쓰이고 중요한 재료인 만큼 여러가지 면에서 좋은 콘크리트를 얻는 성공은 주의 깊고 합리적인 설계에서 뿐만 아니라 건설 관계자의 능력과 진지함 및 품질 관리에 달려 있다고 말할 수 있다. 그러

므로 콘크리트 재료에 대한 새로운 인식과 설계 및 생산에 배전의 노력을 기울여야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- A. M. Neville, Properties of Concrete, 3rd Ed., Pitman, 1981
- B. A. Barry, Errors in Practical Measurement in Science, Engineering, and Technology, John Wiley & Sons, 1978
- H. E. Davis, The Testing of Engineering Material, 4th Ed., McGraw-Hill, 1982.
- D. C. Teychenné, Design of Normal Concrete Mixes, BRE, England, 1975.
- Winter/Nilson, Design of Concrete Structures, 9th Ed., McGraw-Hill, 1979.