

# 관입시험법에 의한 콘크리트 압축강도 추정식의 제안에 관한 연구

## A New Proposal for the Estimated Equation of Concrete Strength by Penetration Test

|                 |               |                |
|-----------------|---------------|----------------|
| 권 영 응*          | 신 정 식**       | 박 만 철**        |
| Young-Wung Kwon | Jung-Sik Shin | Man-Chul Park  |
| 이 성 용***        | 김 민 수****     | 박 승 철****      |
| Sung-Young Lee  | Min-Su Kim    | Song-Chul Park |

### ABSTRACT

This study aims to propose the new strength equation of concrete by penetration test. There are not only few estimate strength equation of concrete, but also many problems to apply them to the real structure because of speed, cost, easiness, structural damage, reliability and so on. For this study, there performed a series of test and proposed a strength equation as follows :

$$f_c = 5661 - 219.5d + 2.17d^2$$

(단,  $R^2 = 98.6\%$ )

$f_c$  : estimated compressive strength of concrete by  $\text{kgf/cm}^2$      $d$  : penetrated depth of concrete by mm.

### 1. 서언

콘크리트 구조체의 강도를 얻기위한 비파괴 시험법은 슈미트햄머 시험법, 초음파 시험법, 관입시험법, 인발시험법 등이 많이 사용되고 있다. 그러나 이러한 비파괴 시험법은 시험에 드는 비용이나 속도, 시험의 편의성, 구조체의 손상, 신뢰성 등에 있어서 저마다의 문제점을 가지고 있다. 그러나 이러한 시험법 등은 실험요인이나 수준에 따른 자료나 추정식이 부족하여 실용화하는데 제한이 되었다.

본 연구에서는 시험자료가 많이 축적되어 있지 않은 관입시험법에 의한 새로운 압축강도 추정식을 제안하고자 하였다.

\* 정회원, 인천대학교 건축공학과 교수  
\*\* 정회원, 인천대학교 건축공학과 석사과정  
\*\*\* 정회원, 인천대학교 산업대학원 석사과정  
\*\*\*\* 정회원, 인천대학교 건축공학과 박사과정

## 2. 실험

### 2.1 실험환경

본 실험에 사용된 모 콘크리트 강도는 28일 표준실린더 압축강도 202, 252, 650kgf/cm<sup>2</sup>로 제작된 콘크리트 구조벽체로서, 하절기에 현장양생하였다. 또한 실험재령은 3, 7, 14, 28일이며 공시체의 강도는 102~632kgf/cm<sup>2</sup>에 분포되어 있다.

### 2.2 사용재료

표 1 시멘트의 물리적 특성

| 비 중  | 분말도<br>( $cm^2/g$ ) | 안정도<br>(%) | 응결시간(분) |     | 압축강도 ( $kgf/cm^2$ ) |     |     |
|------|---------------------|------------|---------|-----|---------------------|-----|-----|
|      |                     |            | 초결      | 종결  | 3일                  | 7일  | 28일 |
| 3.15 | 3350                | 0.03       | 250     | 360 | 210                 | 280 | 360 |

표 2 골재의 물리적 특성

| 구분   | 비중   | 조립률  | 흡수율(%) | 단위용적중량<br>( $kgf/m^3$ ) | 0.08mm체<br>통과율 (%) | 비고 |
|------|------|------|--------|-------------------------|--------------------|----|
| 잔골재  | 2.62 | 2.82 | 0.8    | 1600                    | 0.3                |    |
| 굵은골재 | 2.62 | 5.75 | 0.5    | 1560                    | 0.3                |    |

표 3 혼화제의 물리적 특성

| 목표강도 | 종 류         | 주 성분   | 형 태 | 색 상 | 비중(20℃) |
|------|-------------|--------|-----|-----|---------|
| 150  | AE감수제       | 유기산계   | 액상  | 무색  | 1.04    |
| 300  | 고성능 AE복합감수제 | 라푸탈린계  | 액상  | 암갈색 | 1.15    |
| 600  | 폴리카본산염      | 폴리카본산계 | 액상  | 살색  | 1.2     |

### 2.3 콘크리트의 배합

본 실험에서 사용되는 콘크리트를 위해 그 목표강도를 150, 300, 600kgf/cm<sup>2</sup>로 잡았다. 이때 목표강도에 따라 적용한 단위시멘트량은 219, 326, 506kgf/cm<sup>2</sup>, 단위수량 142, 148, 134kgf/cm<sup>2</sup>, 세골재율 51, 46, 37%, 물·시멘트비(W/CM)는 72, 45, 25%, 단위수량 142, 148, 134kgf/cm<sup>2</sup>로 하였으며, 최대골재치수, 슬럼프, 공기량 등은 각각 25mm, 120mm, 4.5%로 하였다. 또한 플라이애쉬와 혼화제도 사용하였으며, 이들을 종합하면 표4와 같다.

표 4 사용콘크리트의 배합내용

| 목표강도<br>( $kgf/cm^2$ ) | 굵은골재<br>최대치수 | 슬럼프<br>(mm) | 공기량<br>(%) | W/CM<br>(%) | S/A<br>(%) | 중량배합 ( $kgf/m^3$ ) |     |     |     |         |       |
|------------------------|--------------|-------------|------------|-------------|------------|--------------------|-----|-----|-----|---------|-------|
|                        |              |             |            |             |            | W                  | C   | S   | G   | Fly Ash | AD    |
| 150                    | 25mm         | 120         | 4.5        | 72          | 51         | 142                | 219 | 970 | 883 | 33      | 2.02  |
| 300                    | 25mm         | 120         | 4.5        | 45          | 46         | 148                | 326 | 818 | 927 | 58      | 1.92  |
| 600                    | 25mm         | 120         | 4.5        | 25          | 37         | 134                | 506 | 597 | 904 | 127     | 14.56 |

## 2.4 구조시험체의 제작 및 양생

본 실험에 사용되는 콘크리트 구조시험체는 28일의 목표강도 150, 300, 600kgf/cm<sup>2</sup>, 깊이×높이×두께를 2m×1.2m×0.2m의 콘크리트 벽체로 하였다. 구조체(코어)의 강도는 현장양생 벽체로부터 ø100×200의 코어를 재령 3, 7, 14, 28에 3개씩 상중하로 천공하였다.

## 2.5 시험값의 획득

본 시험에서 관입깊이를 얻기 위해서는 James Instrument사의 Winsor HP Probe System을 사용하였으며, 이때 Probe는 표준형(Silver)이고, 직경 6.4mm, 깊이 79mm이었다. 이때 Probe가 관입되고 남아 노출된 길이를 측정하여 관입깊이를 구하였다. 본 실험에서는 코어 절취부 3개 옆에서 2개의 관입 평균값을 구하여 관입깊이로 하였으며, 이때 코어값은 벽체로부터 3개의 코어평균강도값을 대표값으로 하였다. 이렇게하여 구한 실험결과치는 표 5와 같다.

표 5 관입깊이와 구조체(코어)의 강도

|                                     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 관입깊이<br>(mm)                        | 51.8 | 49.9 | 40.5 | 50.3 | 47.0 | 39.2 | 46.8 | 44.2 | 37.9 | 45.2 | 43.4 | 35.4 |
| 구조체(코어)강도<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 102  | 147  | 349  | 114  | 155  | 389  | 147  | 170  | 440  | 201  | 235  | 632  |

## 3. 강도식의 추정

### 3.1 회귀분석

회귀분석(regression analysis)이란 변수들의 관련성을 규명하기 위해 수학적 모형을 데이터로부터 추정하는 것으로, 일반적으로 추정된 모형을 이용하여 필요한 예측을 하거나 관심이 있는 통계적인 추론을 하는 것이다. 최소제곱법을 이용한 추정회귀식을 구한 후에는 추정회귀선의 타당성을 검증하여야 한다. 이를 위한 방법으로 회귀계수에 대한 t-검정, 분산분석을 위한 F-검정, 그리고 총변동 중에서 회귀모형에 의해 설명되어지는 결정계수 R<sup>2</sup> 등이다.

### 3.2 회귀내용

회귀분석에 의한 강도추정식은 식1과 같으며 그 회귀내용은 그림1, 표6과 같다.

$$f_c = 5661.12 - 219.498d + 2.17325d^2 \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식1})$$

(단, s=21.2425, R<sup>2</sup> = 98.6%)

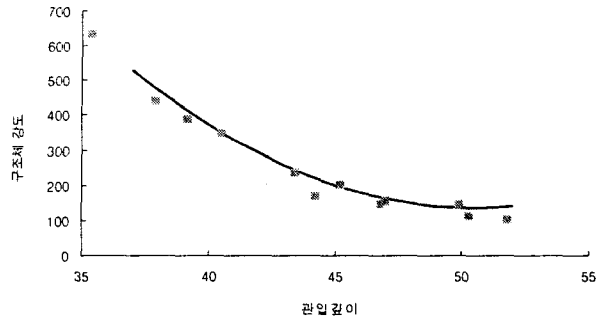


그림 1 관입깊이와 콘크리트 강도

표 6 분산분석표

| Source     | DF | SS     | MS     | F       | P     |
|------------|----|--------|--------|---------|-------|
| Regression | 2  | 285842 | 142921 | 316.728 | 0.000 |
| Error      | 9  | 4061   | 451    |         |       |
| Total      | 11 | 289903 | -      |         |       |

### 3.3 강도식의 타당성 분석

관입깊이와 콘크리트 강도를 산점도에서 보면 곡선관계를 나타내고 있으며, 추정강도식은  $f_c = 5661 - 219.5d + 2.17d^2$ 이고, 이 회귀식의 계수에 대한 t-검정과 분산분석 결과 P값이 0.05보다 작게 나오므로 유의(significant)하다고 볼 수 있다.

결정계수 98.6%는 콘크리트 추정강도  $f_c$ 의 총변동의 98.6%를 이 회귀식에 의해 설명될 수 있으며 제안식은 추정강도식으로 타당하다고 할 수 있다.

### 4. 결론

콘크리트 구조시험체로부터 일련의 코아강도와 관입시험을 통하여 구한 강도추정식은 다음과 같다.

$$f_c = 5661 - 219.5d + 2.17d^2$$

이 때 기여율은 98.6%이고, t검정과 F검정 결과 유의(significant)하게 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 (주)합 건설방재기술단과 인천대학교가 지원한 연구비에 의해 수행되었으며, 두 기관에 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. Young-Wung, Kwon , "A Study on the Estimation of Concrete strength in Existing Buildings Using NDT Results," KCI-JCI Joint Seminar, 1994.
2. 권영웅외, "시멘트, 콘크리트의 품질시험 및 품질관리," 한국콘크리트학회 기술강좌교재, 1999.
3. 권영웅외 "콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단," 한국콘크리트학회 기술강좌, 1993.
4. 권영웅, "콘크리트 소재 구조물의 강도특성시험에 관한 연구," 콘크리트 학회지, 1992.11.
5. A.M Neville, "Properties of Concrete," final edition, 1995.
6. S.Mindess, J.F.Young, "Concrete," Prentice-Hall, 1981.