

관입시험법에 의한 콘크리트의 강도 추정

A New Strength Equation of Concrete by Penetration Resistance Test

박 송 철* 유 재 은** 김 민 수*** 권 영 웅****
Park, Song-chul Yoo, Jae-Eun Kim, Min-Su Kwon, Young-Wung

ABSTRACT

This study concerns the new estimated strength equation of concrete by penetration test. There are not only few estimate strength equations of concrete, but also many problems to apply them because of time, cost, easiness, structural damage, reliability and so on.

In this study, there performed a series of penetration test with in 730days' concrete structures and proposed equations as follows ;

Linear : $f_{ck} = 2.95d - 80.0$ ($r^2 = 69.8\%$)

Quadratic : $f_{ck} = 0.204d^2 - 12.15d + 193.2$ ($r^2 = 83.6\%$)

here, f_{ck} : Estimated compressive strength of concrete by MPa d : exposed probe length by mm.

Keyword : 콘크리트, 비파괴시험, 관입저항시험, 강도추정식

Concrete, Nondestructive test, Penetration resistance test. Strength equation

1. 서론

콘크리트 구조체를 구조적으로 평가하는데 있어 콘크리트의 강도는 매우 중요한 의미를 갖는다. 구조물의 강도를 추정하는 비파괴 시험은 슈미트햄머 시험법, 초음파 시험법, 관입시험법, 인발시험법 등이 있으나 이러한, 비파괴 시험법은 시험에 소요되는 비용이나 속도, 시험의 편의성, 구조체의 손상, 신뢰성 등에 있어서 저마다의 문제점을 가지고 있다. 또한 실험요인이나 수준에 따른 그 자료나 추정식이 크게 부족한 실정이다.

본 연구에서는 국내에서 실험자료가 많이 축적되어 있지 않은 관입저항시험법중 윈저법(Windsor Probe Test)을 통하여 새로운 압축강도 추정식을 제안하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험요인 및 수준

본 실험에 사용된 모 콘크리트 강도는 28일 표준실린더 압축강도 20.2, 25.2, 65.0MPa로 제작된 콘크리트 만능시험체로서, 하절기에 현장양생 하였다. 또한 실험재령은 3, 7, 14, 28, 90, 180, 365, 730일이며 모 콘크리트 공시체의 강도는 9.9~69.0MPa로 분포되어 있다.

2.2 사용재료

만능시험체를 제작하는 사용된 콘크리트는 인천지역에서 생산되는 S사의 레미콘을 사용하였고, 시멘트, 골재, 혼화제의 물리적 특성은 Table 1~3이고, 콘크리트 배합비는 Table 4와 같다.

* 정희원, 인천대학교 건축공학과 대학원, 박사과정

** 정희원, 인천대학교 건축공학과 교육대학원, 석사과정

*** 정희원, (주)함 건설방계기술단, 공학박사

**** 정희원, 인천대학교 건축공학과 교수, 공학박사

Table 1. Physical Properties of TYPE I Cement

| Specific gravity | Blaine (cm/g) | Stability (%) | Setting Time(min) | | Compressive Strength(MPa) | | |
|------------------|---------------|---------------|-------------------|-------|---------------------------|-------|--------|
| | | | initial | final | 3 day | 7 day | 28 day |
| 3.15 | 3,350 | 0.03 | 250 | 360 | 21.0 | 28.0 | 36.0 |

Table 2. Physical Properties of Aggregates

| Aggregate | Specific gravity | Finess modulus | Absorption (%) | Unit weight (kgf/m ³) | Percentage passing of 0.08mm sieve(%) |
|-----------|------------------|----------------|----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Fine | 2.62 | 2.82 | 0.8 | 1600 | 0.3 |
| Coarse | 2.62 | 57.5 | 0.5 | 1560 | 0.3 |

Table 3. Properties of Admixtures

| 28days' Strength of Concrete(MPa) | Type | Component | Content | Color | Specific Gravity(20℃) |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------|---------|-------------|-----------------------|
| 20.2 | AE-admixture | acid | fluid | achromatic | 1.04 |
| 25.2 | super plasticizer AE-admixture | naphthalene | fluid | dark brown | 1.15 |
| 65.0 | poly-carbon acid salts | poly carbon acid | fluid | bright pink | 1.2 |

Table 4. Mix Proportioning of Concrete

| Concrete Strength (MPa) | W/CM (%) | S/A (%) | Unit Weight of Ingredient (MPa) | | | | | | Max. Aggregate size | Slump (mm) |
|-------------------------|----------|---------|---------------------------------|------|------|------|------|-----|---------------------|------------|
| | | | W | C | S | G | F | A | | |
| 20.2 | 72 | 51 | 14.2 | 21.9 | 97.0 | 88.3 | 33.0 | 0.2 | 25mm | 120 |
| 25.2 | 45 | 46 | 14.8 | 32.6 | 81.8 | 92.7 | 58.0 | 0.2 | 25mm | 120 |
| 65.0 | 25 | 37 | 13.4 | 50.6 | 59.7 | 90.4 | 12.7 | 1.5 | 25mm | 120 |

W: Water, C: Cement, S: Sand, G: Gravel, F: Fly ash, A: Admixture

2.3 만능시험체의 제작 및 양생

본 실험에 사용되는 콘크리트 구조시험체는 28일강도가 20.2, 25.2, 65.0MPa로, 깊이×높이×두께를 2m×1.2m×0.2m의 콘크리트 벽체로 제작하였다. 구조체(코어)의 강도는 현장양생 벽체로부터 $\phi 100 \times 200$ 의 코어를 채령 3, 7, 14, 28, 90, 180, 365, 730일에 3개씩 상·중·하로 채공하였다.

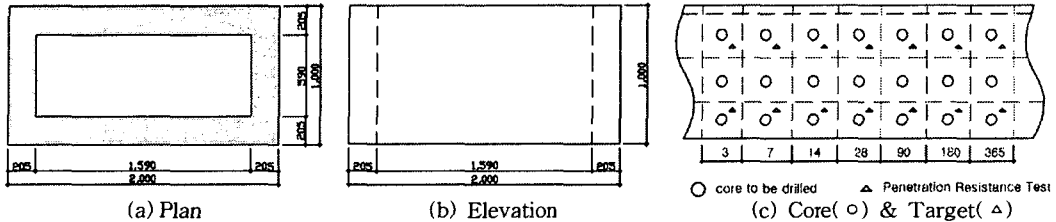


Figure 1. Specimen of Concrete Strength

2.4 Winsor Test의 장비 및 원리

이 시험에 사용되는 장비는 프로브(Probe, 관입핀), 화약을 이용하는 관입용 총(Power driver), 프로브의 노출길이를 측정하는 기구(Electronic measuring unit)로 구성되어 있으며, 표준형(Silver) 프로브는 직경 6.4mm, 길이 79mm이다. 이 시험의 원리는 프로브에 작용된 초기운동에너지(800J, 변동률 ± 1%)가 흡수되는데 필요한 만큼 콘크리트가 관입하는 것을 이용하였다. 프로브의 초기운동에너지의 일부는 프로브와 콘크리트 사이의 마찰에 의해서 흡수되고, 다른 일부는 콘크리트를 파쇄함으로써 흡수된다. 콘크리트 강도는 콘크리트 표면에 노출된 프로브의 길이를 측정하여 강도를 추정하였다.

2.5 시험값의 획득

원저시험 장비는 James Instrument社의 Winsor HP Probe System을, Probe는 표준형(Silver)사용하였다. 노출길이의 측정은 코어 절취부 옆에서 2개의 평균값을 구하여 노출길이로 하였다.

채하시험에 사용된 실험기기는 미국 M社의 100t 유압압축시험기로서, 급격한 하중과 편심압축 방지

를 위해 내압판 사이에 구면좌-실린더- load cell 및 특수 saddle을 사용하였고, 하중 변화의 계측장치로는 Kyowa산 만능측정기 UCAM-70A로서 load cell에 연결하여 하중을 측정하였다. 또한 재하속도는 약 0.3MPa/sec 이었다.

실험을 통하여 구한 실험결과값은 Table 5와 같다.

Table 5. Exposure probe Length & Compressive Strength of Concrete Core

| Age (Days) | fck = 20.2MPa | | fck = 25.2MPa | | fck = 65.0MPa | |
|------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| | Exposed Length(mm) | Concrete Strength (MPa) | Exposed Length(mm) | Concrete Strength (MPa) | Exposed Length(mm) | Concrete Strength (MPa) |
| 3 | 28.5 | 9.9 | 26.2 | 14.2 | 40.8 | 36.4 |
| | 28 | 10.2 | 34 | 14.5 | 38.2 | 36.2 |
| 7 | 32.4 | 16.4 | 33.6 | 15.2 | 39.6 | 40.1 |
| | 27 | 11 | 32.4 | 15.5 | 42 | 29.4 |
| 14 | 39 | 14.7 | 39.1 | 16.2 | 42.3 | 48.2 |
| | 27.4 | 14.2 | 32.5 | 18.8 | 42 | 44.2 |
| 28 | 32.8 | 18.4 | 36.3 | 24.4 | 44.5 | 63.2 |
| | 36.9 | 20.1 | 37 | 22.2 | 44.7 | 62.9 |
| 90 | 31.6 | 21.8 | 39.6 | 16.6 | 43 | 65.2 |
| | 36.9 | 22 | 41.2 | 21.9 | 45.6 | 63.5 |
| 180 | 35.5 | 19.9 | 38.1 | 28.4 | 45.4 | 67.1 |
| | 38.1 | 24.8 | 35.7 | 20.9 | 48.1 | 63.7 |
| 365 | 37.1 | 23.9 | 37 | 26.6 | 43.8 | 65.6 |
| | 35.7 | 24.9 | 39.5 | 26.2 | 45.9 | 63.9 |
| 730 | 39.3 | 23.4 | 39.3 | 27.5 | 45.9 | 69.3 |
| | 36.7 | 24.7 | 39.2 | 27.4 | 43.6 | 69 |

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 변동의 크기인 결정계수 r^2 등이다.

3.2 회귀내용

회귀분석에 의한 관입저항시험의 회귀내용과 압축강도추정식은 Table 6, 7과 같다.

Table 6. Analysis of Variance

| | Source | DF | SS | MS | F | P |
|-----------|----------------|----|----------|----------|--------|-------|
| Linear | Regression | 1 | 12044.11 | 12044.11 | 106.31 | 0.000 |
| | Residual error | 46 | 5211.458 | 113.29 | | |
| Quadratic | Regression | 2 | 14432.47 | 7216.24 | 115.03 | 0.000 |
| | Residual error | 45 | 2823.10 | 62.74 | | |

Table 7. Correlation Equations

| | Correlation equations | r^2 |
|-----------|-----------------------------------|-------|
| Linear | $fck = 2.95d - 80.0$ | 69.8% |
| Quadratic | $fck = 0.204d^2 - 12.15d + 193.2$ | 83.6% |

fck = Compressive Strength, MPa
d = Exposed Probe length, mm

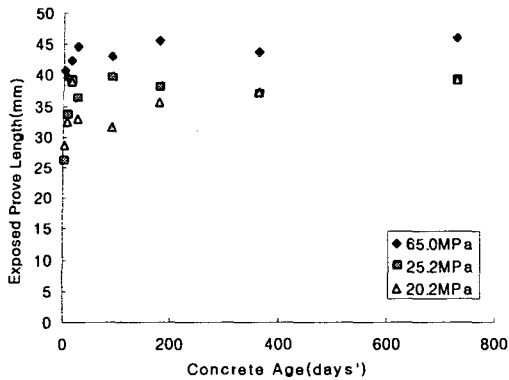


Figure 2. Exposed length versus Concrete age

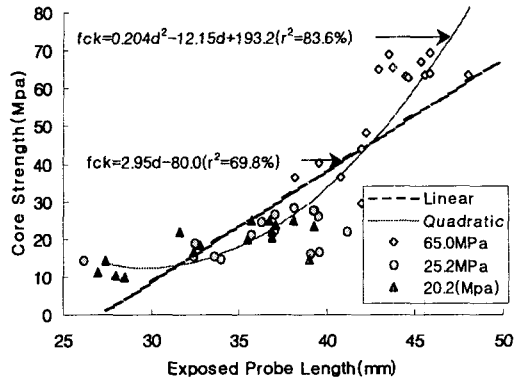


Figure 3. Regression Curve

4. 결 론

본 연구를 통하여 일련의 실험결과로부터 얻은 관입시험법에 의한 콘크리트 압축강도 추정식은 다음과 같다.

Linear : $f_{ck} = 2.95d - 80.0$ ($r^2 = 69.8\%$)

Quadratic : $f_{ck} = 0.204d^2 - 12.15d + 193.2$ ($r^2 = 83.6\%$)

이때, 위 식에 대한 t검정과 F검정의 결과는 유의(significant)하다.

감사의 말씀 :

본 연구는 (주)합 건설방재기술단이 지원한 연구비에 의해 수행되었으며, 다시 한번 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 권영웅외, "콘크리트 코어의 강도특성에 관한 연구," 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2002.10
2. 권영웅외, "관입시험법에 의한 콘크리트 압축강도 추정식의 제인에 관한 연구," 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2002.10
3. 권영웅외, "슈미트햄머 시험법에 의한 실존 콘크리트 구조체의 압축강도 추정식에 관한 연구," 한국구조물진단학회 가을학술발표대회 2002.11
4. 권영웅외, "관입시험법에 의한 콘크리트 압축강도 추정식의 제인에 관한 연구," 대한건축학회, 봄 학술발표대회, 2003. 4
5. 권영웅외, "초음파 시험법에 의한 실존 콘크리트 구조체의 압축강도 추정식에 관한 연구," 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집 2003.5
6. 권영웅외, "콘크리트 코어의 재령에 따른 강도 발현 성향에 관한 연구," 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2003.5
7. 권영웅외, "슈미트햄머 시험법에 의한 180일 이하의 콘크리트의 압축강도식의 제안" 한국구조물진단학회, 봄학술발표대회, 2003.5
8. 권영웅외, "초음파 시험법에 의한 실존 콘크리트 구조체의 압축강도 추정식에 관한 연구," 대한건축학회 가을학술발표회 논문집 2003.11
9. 권영웅외, "관입시험법에 의한 콘크리트 압축강도 추정식," 한국콘크리트학회, 가을학술발표대회, 2003. 11
10. 권영웅외, "슈미트햄머에 의한 콘크리트의 구조체의 압축강도 추정식" 한국구조물진단학회, 가을학술발표대회, 2003.11
11. 이성룡, "실존 콘크리트 구조체의 코어 강도에 관한 연구," 인천대학교 석사학위논문, 2003. 6
12. 신정식, "관입시험법에 의한 콘크리트의 압축강도식 제안," 인천대학교 석사학위논문, 2003. 12
13. 전익찬, "슈미트햄머 시험법에 의한 콘크리트 압축강도식 제안," 인천대학교 석사학위논문, 2003. 12
14. Young-Wung, Kwon , "A Study on the Estimation of Concrete strength in Existing Buildings Using NDT Results," KCI-JCI Joint Seminar, 1994