

강자갈을 사용한 콘크리트 구조물의 탄성계수 특성 모델

The Development of Model of the Modulus of Elasticity applied to Analysis of Concrete Structure using Nature Coarse Aggregate

이준구* · 박광수 · 신수균 · 김관호(농기공) · 김한중(서울대)

Lee, Joon Gu · Park, Kwang Soo · Shin, Su Gyun · Kim, Kwan Ho · Kim, Han Joung

Abstract

This study was performed to find out the regression function to calculate the modulus of elasticity of concrete mixed by river coarse aggregate. The distribution of the group of core strength made a normal curve and the effect factor in the modulus of elasticity was 0.97 at the concrete compounded by river coarse aggregate.

I. 서론

농업용수의 주요 수원공인 저수지의 여수토방수로 옹벽구조물에서 콘크리트 코어를 채취하여 압축강도와 탄성계수를 측정하였다. 콘크리트 압축강도와 탄성계수를 회귀 분석하여 콘크리트 압축강도를 통하여 탄성계수를 계산할 수 있는 회귀식을 제안하였다. 콘크리트 탄성계수는 일반적으로 사용한 굵은골재의 암질과 콘크리트의 압축강도, 비중에 따라 달라지는 특성을 갖는다. 따라서 국내의 지방규정에서는 콘크리트의 강도 크기에 따라 적용식을 달리하고 있으며, CEB-FIP에서는 암질별 적용영향계수를 제안하고 있다(table1, 2).

본 연구에서 조사한 저수지는 준공 후 15~40년이 지난 시설물로서 그 부속구조물인 여수토방수로 옹벽은 하천 강자갈($G_{max} = 40\text{mm}$)을 이용하여 현장에서 타설된 콘크리트 구조물이다. 설계자료의 조사결과에 따르면 콘크리트의 설계기준강도는 130~210kgf/cm²의 범위를 갖으며, 주로 180kgf/cm²으로 설계되어있다. 총 100개 저수지의 여수토방수로 옹벽에서 콘크리트를 채취하였으며, 압축강도는 100개 지구에서 모두 측정하였으나, 압축강도와 탄성계수를 동시에 측정한 지구는 42개 지구이다. 코어의 압축강도 측정결과는 그 분포를 알아보기 위한 통계분석에 이용되었으며, 탄성계수와 동시에 측정한 결과는 압축강도를 통해 탄성계수를 구하는 회귀식 도출자료로 활용되었다. 도출된 회귀식을 국내외 지방에서 제안하는 회귀식과 비교 분석하였으며, 부벽식 옹벽을 해석하여 탄성계수가 구조해석에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

II. 실험개요

2.1 압축강도와 탄성계수

일리노이드 대학에서 정상중량의 139개 원주형 공시체를 가지고 압축강도와 초기접선계수법에 의한 탄성계수를 측정하고, 이들 관계함수를 선형과 파워회귀함수로 나타내었다. 계측값과 계산값의 관계를 정규분포로 나타내어 통계분석한 결과 평균 1.00, 분산

2002년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2002년 10월 12일)

계수 0.124, 외곡도 0.481, 첨도 2.57로 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다. 또한 미국 포틀랜드 시멘트 연합에서는 콘크리트의 탄성계수가 압축강도의 제곱근에 비례하는 관계함수를 제시하였다³⁾. 국내의 시방에서 제안하고 있는 콘크리트의 압축강도와 탄성계

수의 관계함수를 표 2와 같이 요약하였다. 또한, 탄성계수는 콘크리트에 사용된 굵은 골재의 암질에 따라 달라지므로 암질에 따른 영향계수를 제안하기도 한다¹⁾. 표1은 CEB-FIP에서 제안하고 있는 골재의 종별 탄성계수에 미치는 영향계수로 표 2의 제안식(CEB-FIP)에 골재의 영향계수를 곱하여 골재의 종별 보정을 하도록 하고 있다.

Table 1. Kinds of aggregate and effect factors in modulus of elasticity.

Coarse aggregate	Effect factor
basalt, dense limestone	1.2
quartzite	1.0
limestone	0.9
sandstone	0.7

III. 실험방법

3.1 탄성계수 및 압축강도 측정

콘크리트 코어의 압축강도 측정은 KS F 2422, 2405에 따라 측정하였다. 코어의 양 단면을 절단하여 연마하고 로드셀을 이용하여 압축강도를 측정하였다.

콘크리트 코어의 정탄성계수 측정은 KS F 2438에 따라 측정하였다. 하중과 길이방향 변위 계측은 다이알 게이지 대신 길이변화센서(LVDT)가 부착된 콤프레소미터와 로드셀을 이용하였다. 센서의 신호는 자동자료입력장치(DATA ACQUISITION SYSTEM)를 이용하여 실시간으로 측정하였다. 하중과 변위 자료를 통하여 응력-변형률 곡선을 그린 후 할선계수를 탄성계수로 하였다.

IV. 결과분석 및 고찰

4.1 압축강도의 분포

콘크리트 코어의 압축강도는 지구당 코어 3개값의 평균값으로 하였으며, 총 100개 자료를 조간격 50으로 하여 조빈도와 압축강도를 정규분포 곡선과 함께 그림 4와 같이 도시하였다. 콘크리트의 강도분포는 80~320kgf/cm²로 분포되었으며, 평균 156, 최빈 140, 표준편차 46kgf/cm²을 갖는 베타분포(Beta distribution)를 따름을 알 수 있었다.

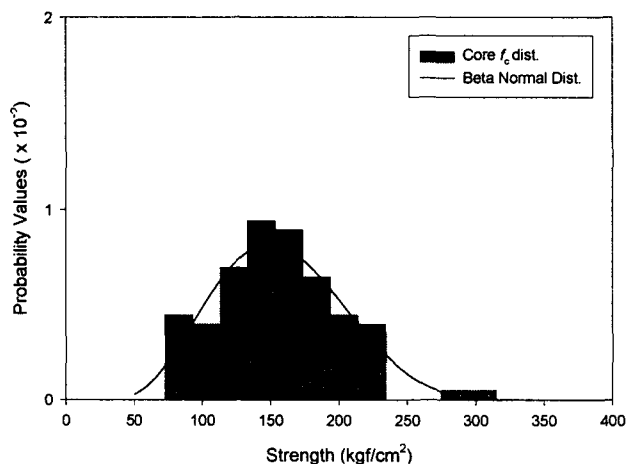


Fig. 1 The distribution of group of concrete core compressive strength

4.2 탄성계수 제안식

콘크리트 코어의 압축강도와 탄성계수를 동시에 측정한 자료를 분석하여 압축강도를 통한 탄성계수 추정식을 표 3과 같이 콘크리트 표준시방서(KSCE), 미국 콘크리트시방서(ACI), CEB-FIP식들과 같이 강도와 비중의 함수로 제안할 수 있었으며, KSCE, ACI식은 제안식에서 3% 벗어나 있음을 알 수 있다. 이는 CEB-FIP에서 제안한 굵은골재의 압질

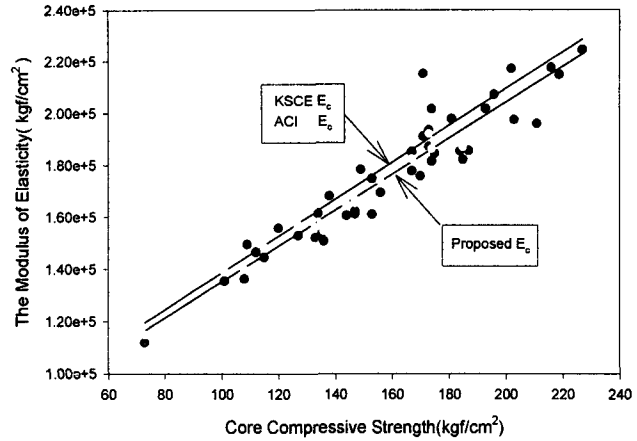


Fig. 2 The Concrete Core Compressive Strength and the modulus of Elasticity

에 따른 영향계수가 강자갈에서는 0.97임을 의미하며, 강자갈을 사용한 콘크리트의 탄성계수를 강도와 비중을 사용하여 계산할 경우는 압질 영향계수 0.97을 적용하여야 할 것으로 판단되었다.

4.3 탄성계수가 구조해석 결과에 미치는 영향

탄성계수의 변화에 따른 구조해석결과를 분석하기 위해 정밀조사대상구조물인 옹벽을 선정하여 철근을 고려하지 않고 콘크리트의 재료적 측면만을 모델링하여 유한요소해석프로그램인 VisualIFEAA/GEO를 사용하여 해석하였다. 구조해석에 사용한 콘크리트 압축강도는 코어강도 분포에서 그 평균값인 156kgf/cm²을, 비중은 2.3 ton/m³를 사용하였으며, 탄성계수는 제안식에서는 1.813×10⁵, KSCE와 ACI에서는 1.860×10⁵과 1.884×10⁵kgf/cm²를 각각 사용하여 해석하였다. 지반반력계수에 지배면적을 곱한 스프링상수를 써서 지반의

거동을 고려하였으며, 흙의 단위체적 중량 $\gamma_t = 1.8\text{tf/m}^3$, 주동토압계수 1/3을 적용하였다. 탄성계수에 따른 해석 결과는 표 4와 같이 처짐량으로 나타내었으며, 제안식과 KSCE, ACI의 처짐량 차이는 2%로 나타났다. 해석결과를 그림 3, 4에 도시하였다.

Table 3 Comparison of Proposed Eq. with other Specification

Specification	Equation
Proposed	$4,162w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
KSCE	$4,270w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
ACI	$w_c^{1.5} \times 33\sqrt{f'_c} \text{ (in psi)}$
CEB-FIP	$E_c = 2.15 \times 10^4 (f_{cm}/10)^{1/3} \text{ (N/mm}^2\text{)}$, f_{cm} : average compressive strength at 28days(measured value) $\text{(N/mm}^2\text{)}$, or $f_{cm} = f_{ck} + 8$, coarse aggregate = quartzite

Table 4. The Result of Structural Analysis

Specification	Equation	δ_{\max} (mm)
Proposed	$4,162w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	7.63
KSCE	$4,270w_c^{1.5} \sqrt{f_{ck}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$	7.49
ACI	$w_c^{1.5} \times 33\sqrt{f'_c} \text{ (in psi)}$	7.49

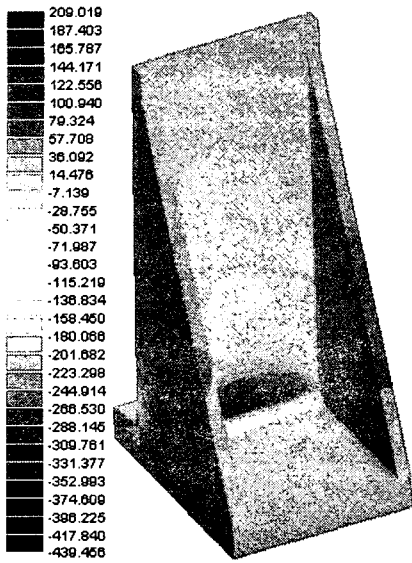


Fig. 3 The Stress Contour of Buttress

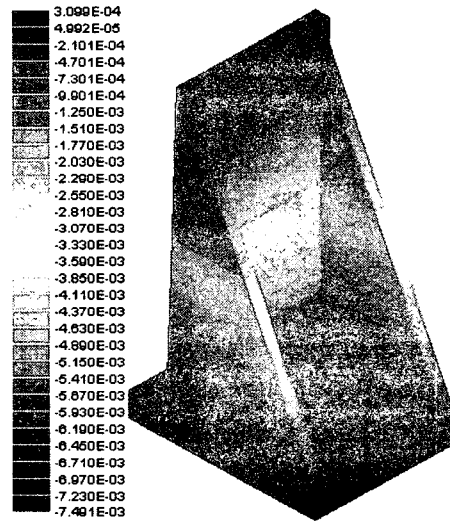


Fig. 4 The Deflection Contour of Buttress

V. 결론

본 연구에서는 준공된 지 15~40년된 콘크리트 구조물에서 채취한 콘크리트코어의 압축강도와 탄성계수를 측정하고, 그 결과를 분석하여 압축강도의 분포와 탄성계수를 분석하였다. 국내의 시방규정을 검토하여 콘크리트의 탄성계수가 굽은골재의 압질, 압축강도, 비중에 따라 달라지는 콘크리트의 물리적 성질로서 시방규정에서 제시하는 탄성계수 산출식이 압축강도와 비중의 함수로 표현됨을 알 수 있었으며, CEB-FIP규격에서는 굽은골재의 압질의 영향을 고려한 계수를 제시하고 있었다. 현재 국내 레미콘에서 사용되는 굽은골재는 석영질 쇄석으로 영향계수가 1.0이었다.

여수토 방수로 옹벽에서 채취한 콘크리트 코어 압축강도 분포는 정규분포함을 알 수 있었으며, 강자갈을 사용한 콘크리트에서 압축강도 측정값과 비중을 통하여 정탄성계수를 구할 수 있는 제안식을 제시하였다. KSCE 및 ACI의 탄성계수 계산식과 제안식을 비교할 때 강자갈이 탄성계수에 미치는 영향계수는 0.97로 나타나, KSCE, ACI 식을 이용하여 탄성계수를 구할 경우 압질 영향계수 0.97을 적용하여야 할 것으로 판단되었다. 탄성계수가 구조해석에 미치는 영향을 분석하기 위해 유한요소해석 프로그램인 VisualFEA/GEO를 사용하여 콘크리트의 재료적 특성만을 모델링하여 해석한 결과, 제안식으로 구한 정탄성계수와 KSCE, ACI로 구한 정탄성계수의 차이는 콘크리트 강도 156kgf/cm²에서 2%의 차이가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) P.Kumar Mehta · Paulo J.M.Monterio, 2000, "콘크리트 공학" pp 95~130, 도서출판 일광
- 2) 박승범, 2000, "최신 토목재료실험", 문운당
- 3) Sher Ali Mirza, M. ASCE, Michael Hatzinikolas, and James G. MacGregor, F. "STATISTICAL DESCRIPTIONS OF STRENGTH OF CONCRETE" ASCE, 1979.

2002년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2002년 10월 12일)