

응력과 기반 비파괴 검사법에 의한 콘크리트 강도 추정에 관한 연구

A Study Using Nondestructive Tests Based on Stress Waves for the Estimation of Concrete Compressive Strength

주 현 지* 조 영 상**
Joo, Hyun Jee Cho, Young Sang

ABSTRACT

The importance of predicting concrete compressive strength of in concrete structures is gradually increasing in construction industry. The estimation of concrete compressive strength of is a critical factor of the construction schedule and quality control. This study was performed to examine the relationship between concrete compressive strength and stress wave velocity which was determined by the impact echo method and SASW method.

Keyword : compressive strength, nondestructive test, impact echo method, SASW method

1. 서론

콘크리트 압축강도의 현장계측은 크게 시공·공정 관리 측면과 품질 관리 측면에서 중요한 요소이다. 공기에 상당한 영향력이 있는 거푸집 탈형 시기나 지주제거시기 PSC 포스트 텐션의 Anchoring의 시기가 소요의 압축강도가 확보되어야만 결정할 수 있다. 또한 한층 콘크리트 품질에 영향을 주는 보양 시기 또한 소정의 압축강도가 확보되어야 결정한다. 기존의 압축강도는 공시체 혹은 시공 시 제작한 시험체나 실 건축물에서 채취한 코어공시체를 이용하여 압축강도 시험을 실시하여 알아낸다. 그러나 실 건축물과 차이가 있으며 구조체에서 직접 채취하여도 이는 일부이며 또한 파괴적이어서 구조물에 결함을 남기는 한계가 있다. 한편 비파괴 시험은 그 데이터가 포괄적이며 비파괴적이어서 그 활용도가 높다 하겠다[1][2][3]. 콘크리트의 비파괴 검사법에 대한 연구는 1934년 무렵 시작되어 1973년 굳지 않은 콘크리트에 결함이 발생하는 사건을 계기로 콘크리트 비파괴검사법에 관한 연구가 새로운 국면을 맞아 진행되고 있다. 미국에서는 N.J.Carino 등이 1980년대 후반 Impact echo를 이용하여 콘크리트 강도와와의 관계에 대해 연구하였다. 1983년 일본에서는 건축학회에서 비파괴 시험방법 매뉴얼을 작성하고 압축강도 추정식을 제안하였으며 국내에서도 그 사용빈도가 높다.[4] 국내의 콘크리트에 관한 연구는 대부분 배합특성 및 역학특성 등에 집중되어있고 비파괴 시험에 의한 콘크리트 강도 추정에 관한 연구는 임서형[5] 등이 보통강도와 고강도에 대해 각각 추정식을 제안하였으며 (2002년) 김무한[4] 등은 고강도 콘크리트에 대한 강도 추정식을 제안하였다. 그러나 이는 반발도와 초음파 속도법에

* 정회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 한양대학교 건축공학과 교수

한정되어 있으며 응력파를 이용한 비파괴 기법에 대하여는 연구가 미진한 실정이다. 이에 본 연구는 응력파 기반 비파괴 시험법인 Impact Echo Method 와 SASW (Spectral Analysis of Surface Wave) Method를 이용하여 응력파의 속도와 콘크리트 압축강도의 관계에 필요한 제반 실험과 그에 대한 분석하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 파의 종류 및 특성

응력파는 파의 전파속도와 파가 전파되는 매질 입자의 거동 특성에 의해 체적파와 표면파로 구분된다. 매질내부를 따라 전파하는 체적파에는 P파와 S파 두 가지 종류가 있다. P파는 압축파라 하여 매질의 전단변형 없이 체적변형만을 일으키며 매질입자의 운동방향은 파의 전파 방향과 같고 그 속도는 식(1)로 구할 수 있다. S파는 전단파라 하며 P파와는 반대로 매질의 체적변형 없이 전단변형만을 일으키며 매질입자의 운동방향은 파의 전파방향과 수직을 이룬다. S파의 속도(V_s)는 식(2)와 같이 매질의 전단탄성계수와 밀도에 의해서 결정된다.

$$V_p = \sqrt{\frac{M}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \dots\dots\dots \text{식 (2)}$$

여기서 M =constrained modulus, E =Young's modulus, ρ =밀도, ν =포아송비, G =전단탄성계수이다. 표면파의 일종인 Rayleigh파의 속도는 식(3)과 같이 포아송비의 함수로서 V_s 로부터 구할 수 있다.

$$V_R = \frac{0.87 + 1.12\nu}{1 + \nu} V_s \dots\dots\dots \text{식 (3)}$$

2.2 응력파를 이용한 비파괴 시험법

충격반향기법(Impact-echo method)은 그림1과 같이 구조물 표면에 응력파를 발생시켜 반대편 표면에서 반사되어오는 반사파의 가속도를 측정하여 시험대상의 두께나 두께를 알고 있는 경우 콘크리트 구조물의 내부 건전도 평가나 결함위치를 파악하는데 주로 사용되는 기법이다. 가진원으로부터 발생한 응력파를 가속도계로 수집하여 얻어진 시간영역 데이터를 고속 푸리에 변환을 통하여 주파수영역으로 변환한 후, 압축파의 속도(V_p)를 구할 수 있다.

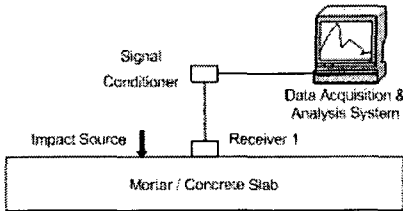


그림 1. Schematic of impact-echo method

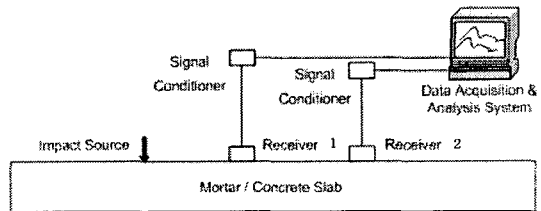


그림 2. Schematic of SASW method

표면파기법(SASW method: spectral analysis of surface wave method)은 구조물에 표면에 충격을 주어 발생한 표면파를 두개의 감진기로 표면파의 가속도를 측정하여 신호처리과정을 거쳐 재료의 분산속도와 강성을 파악하는 기법이다. 신호처리과정은 발진원으로부터 발생한 파를 두개의 감진기로 수집하여 표면파의 변위를 주파수영역으로 변환한 후, 크로스파워 스펙트럼과 코히어런스 함수를 분석하여 분산속도를 얻어내는 과정을 말한다. 주로 지반검사 등의 다층구조에 사용되며 개념도는 그림 2와 같다.

3. 실험

3.1 실험개요

설계기준강도를 18, 21, 24, 27, 30MPa로 하여 각각 4, 5, 5, 4, 5개의 다른 배합비로 그림 3.(a)와 같이 비파괴 실험용 모의부재(80×80×20cm), 압축강도 시험용 공시체(φ10×20cm)를 제작하였다. 각각의 강도에서는 동일한 물시멘트비이다. 콘크리트 비빔은 용량 60ℓ 트윈 믹서를 이용하여 플라야에쉬, 시멘트, 잔골재를 투입하고 30초간 건비빔하고 물과 혼화제를 투입하여 각각 60초, 굵은 골재를 투입하여 60초간 비빔하였으며 총 비빔시간은 210초로 하였다. 이와 같이 제작된 모의 부재와 압축강도시험용 공시체를 이용하여 재령 16시간, 20시간, 24시간, 2일, 3일, 7일, 28일에 대해 비파괴실험과 압축강도를 시험하였다. 압축강도는 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험방법」에 준하여 실시하였고, Impact-Echo method는 그림 3.(b)에서와 같이 1-9번의 위치에서 가진하였다. SASW method의 경우 2, 4, 6, 8,의 위치에서 각각 가진하였고, 발진원과 감진기 1, 2의 사이는 각각 20cm로 수행하였다.

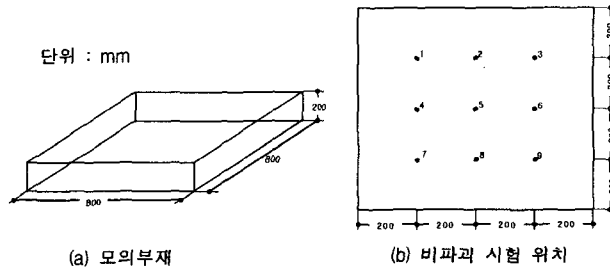


그림 3. 모의 부재와 비파괴 시험위치

4. 실험결과

4.1 실험 결과

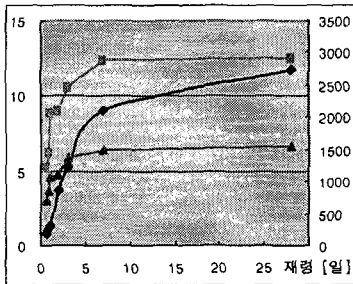


그림 4. 18MPa의 실험 결과

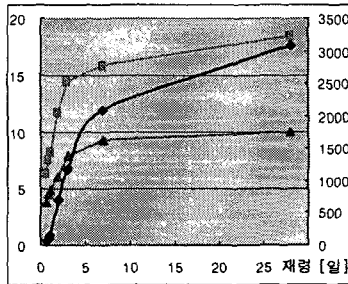


그림 5. 21MPa의 실험 결과

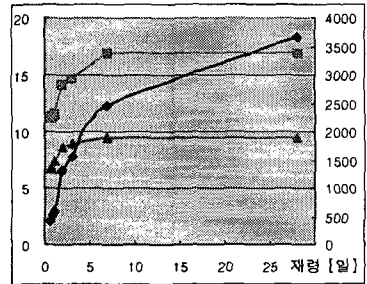


그림 6. 24MPa의 실험 결과

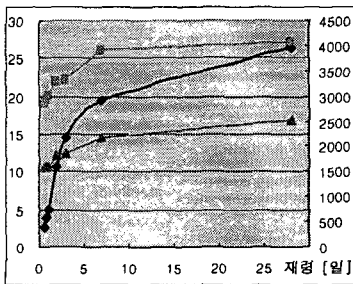


그림 7. 27MPa의 실험 결과

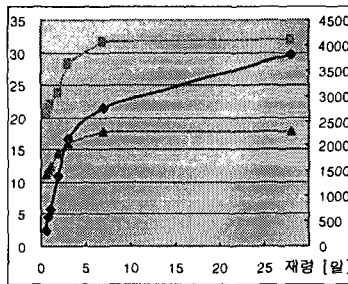


그림 8. 30MPa의 실험 결과

설계강도 : 18, 21, 24, 27, 30MP
 측정항목 : 압축강도 및 비파괴시험
 측정시간 : 재령 16, 20, 24시간, 2일,
 3일, 7일, 28일
 축 : 주축 압축강도 보조축 파속도
 단위 : 압축강도 MPa 속도 m/sec
 범례 : ◆ f_{ck} ■ V_P ▲ V_R

그림 4, 5, 6, 7, 8은 각각 18, 21, 24, 27, 30MPa의 재령별 압축강도와 압축파와 전단파의 속도를 나타낸 것이다. 그림 9,10은 각각 압축파와 압축강도, 표면파와 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. 그림 11은 표면파와 압축파의 속도를 나타낸 것이다.

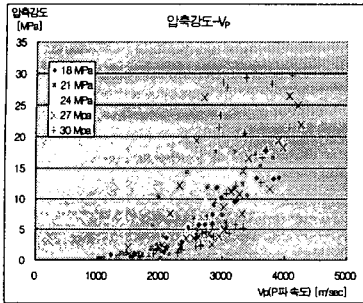


그림9 압축강도와 P파속도의 관계

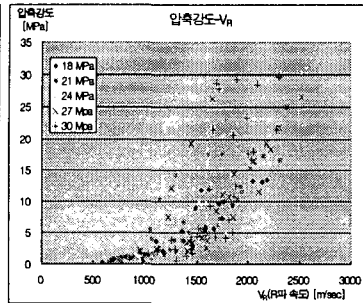


그림10 압축강도와 R파속도의 관계

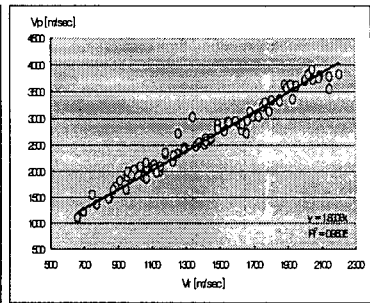


그림11 압축강도와 R파속도의 관계

5. 결론

설계기준강도 18, 21, 24, 27, 30MPa의 배합비에 대하여 재령 16시간, 20시간, 24시간, 2일, 3일, 7일, 28일 압축강도 시험 및 비파괴 실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축강도와 압축파, 표면파의 속도는 7일 이후 증가세가 둔화되었다.
- 2) 압축강도는 파속도의 거듭제곱의 형태로 증가한다.
- 3) 본 실험에서의 압축파와 표면파의 관계는 포아송비 0.25수준의 $V_R = 1.83 V_S$ 이며 결정계수는 0.96으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 연구비 지원에 의해 건설 핵심기술 연구개발 사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Y. S. Cho(2003), Non-destructive testing of high- strength concrete using spectral analysis of surface waves, *NDT & E International*, 36, pp.229~235
2. 김동수, 서원석, 이광명 (2002), 콘크리트 지반구조물의 비파괴 검사를 위한 충격반향-표면파 병행 기법 : I. 수치해석적 연구, 한국지반공학회논문집, 제18권, 제4호, pp.257~270
3. 김동수, 서원석, 이광명 (2002), 콘크리트 지반구조물의 비파괴 검사를 위한 충격반향-표면파 병행 기법 : II 실험적 연구, 한국지반공학회논문집, 제18권, 제4호, pp.271~283
4. 김무한, 최세진, 김용로, 장중호, 김재환, 윤종기 (2004), 비파괴시험에 의한 고강도콘크리트 강도추정식 제안 및 현장적용성 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제20권, 제2호, pp.55~62
5. 임서형, 강현식, 지남용 (2002), 비파괴 시험에 의한 콘크리트의 압축강도 추정에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제18권, 제8호, pp.51~58