

# 콘크리트 비파괴강도 추정을 위한 인발시험법에 대한 연구

## A Study on the Pull-out test for Non-Destructive Evaluation of Concrete Strength

한만엽\*  
Han, Man-Yup

김동욱\*\*  
Kim, Dong-Wook

### ABSTRACT

Pullout test known as Lok test among the test methods to evaluate concrete strength strength is a test method which is used to decide the form removal time by assessing the early strength of concrete in a new construction, or to control the quality of newly placed concrete. This method has inconvenience to place inserts on the form work in advance, however, the placing work is quite simple and it has advantage that the strength can be measured at field as long as the inserts are placed. In this study, the first step is to investigate the properties of test method itself, by performing the laboratory test which covers deviation of the method and factors affecting the results, etc. The second step is to correlate the results with cylinder strength and other NDT methods such as rebound hammer, ultrasonic method, etc. And that, the results are compared with foreign results to find the differences between the two. In this research, new factors such as moisture content, area of aggregate failure cross section and area of aggregate separation cross section, etc as well as water-cement ratio and age are investigated.

### 1.서론

콘크리트의 강도를 추정하기 위한 방법인 인발시험법은 구조물에 최소한의 손상을 주면서도 정확한 측정결과를 주는 부분파괴 검사법으로서 그 기본원리등이 널리 알려진 상태이나, 측정장비가 고가이고 실험과정이 기존 비파괴 검사법보다 복잡하여 외국에서는 널리 보급된 검사법이나 국내에서는 거의 사용되지 못하는 실정이다. 본 연구에서는 인발시험법 중 LOK-TEST로 알려진 시험방법을 사용하는 데 이는 신설구조물에서 콘크리트 타설전에 인서트라는 삽입물을 거푸집에 설치하여 차후에 콘크리트

\* 정희원, 아주대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원, 아주대학교 토목공학과 석사과정

가 경화된 후에 인발력을 가하여 그 최대하중값으로 콘크리트의 압축강도를 추정하는 것이다. 이번 실험에서는 우선 인발시험법에 대한 시험방법의 정확성이나 결과에 영향을 미치는 인자들에 대한 검증 실험을 통하여 인발시험법 자체의 특성을 분석하고자 한다. 또한 인발시험법과 다른 비파괴시험법과 공시체강도등과의 상관관계를 실험적으로 규명하여, 외국의 결과와 비교 분석하고, 국내의 콘크리트의 물성에 따른 차이점을 분석하고자 한다. 그리고 지금까지 연구되었던 물-시멘트비, 최대골재크기 등의 변수외에 아직 연구가 미진한 함수비나 LOK-TEST 코아가 추출될 때 골재파괴면적, 골재탈락면적등의 영향을 연구하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 시험체 및 배합표

본 실험을 위하여 그림1과 같은 단면이 45cm\*45cm\*30cm인 입방체 시험체를 총 8개 제작하였다. 그리고 각 물-시멘트비마다 동일 배합의 시험체를 2개씩 만들고 그에 대한 제원은 아래 표1과 같다.

표 1 시험체의 시방배합표

W/C	굵은골재 치수	단위수량	단위시 멘트량	단위산 골재량	단위굵은 골재량	습윤코	공기량	혼화제
0.3	25	160	530	689	1005	18	4.5	5.3
0.4	25	193	484	573	1119	15.5	1.3	
0.5	25	193	386	656	1119	7.4	2.9	
0.6	25	193	320	709	1119	16	2.7	

시험체는 각각 차후의 인발실험을 위해서 8개의 인서트를 시험체 측면 한면당 2개씩 설치하였다.

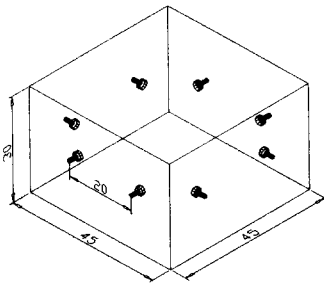


그림 1 시험체 형상

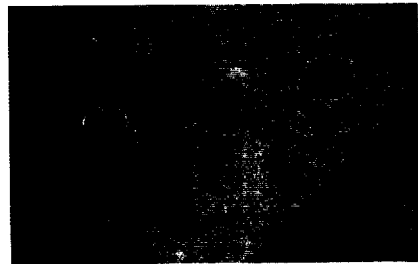


그림 2 추출된 코아

### 2.2 시험방법

같은 물-시멘트비 입방체 시험체 2개에서 1개는 60일까지 계속 습윤양생하고 남은 1개의 공시체는 21일까지는 습윤양생 그 이후는 기건양생을 시켰다. 그리고 각 시험체마다 재령 3,7,28,60일에 2개씩의 인서트를 인발하고 그때마다 같은 배치의 원주형공시체 3개를 사용하여 각 재령마다 압축강도 실험을

하였다. 또한 각 시험체 측면당 초음파실험도 재령마다 3번씩 실시하고, 반발도시험은 20번씩 타격을 하였다. 그리고 인발시험시의 개요도는 다음과 같다.

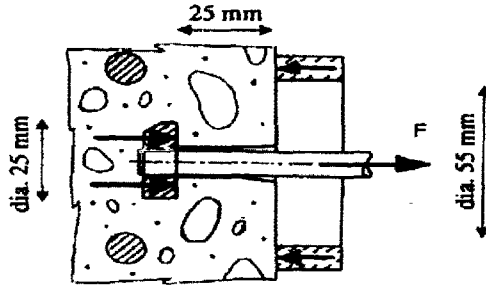


그림 3 인발시험의 개요도

위 그림과 같이 직경 25mm인 인서트를 깊이 25mm에 묻고 콘크리트 표면에 직경 55mm인 반력링을 설치하고 LOK-TEST전용 유압인발기구를 사용하여 인서트를 잡아당긴다. 그때 기구에 부착된 하중계이지가 증가하다가 서서히 값이 떨어진다. 그때의 최대하중값이 바로 인발하중값 P가 되는 것이다. 위와 같은 인발시험후에는 그림2와 같은 인발코어가 추출되는데 이 코어로 함수비와 골재포화면적비, 골재탈락면적비등을 조사하였다.

### 3. 실험결과

인발, 반발경도법, 초음파법의 압축강도와의 관계식은 각각 다음과 같다.

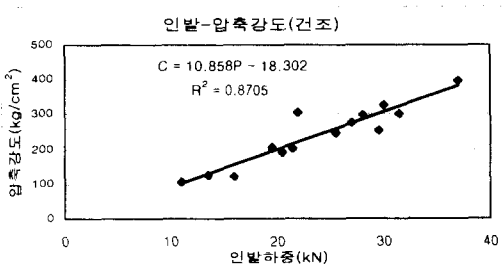


그림 4 건조시 인발-압축강도

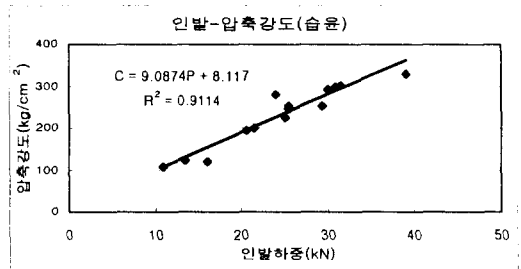


그림 5 습윤시 인발-압축강도

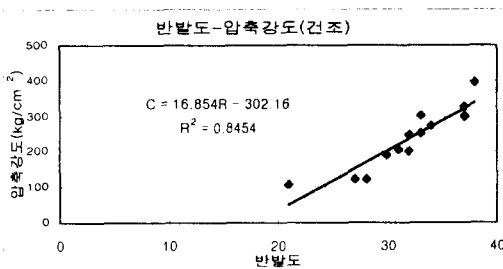


그림 6 건조시 반발도-압축강도

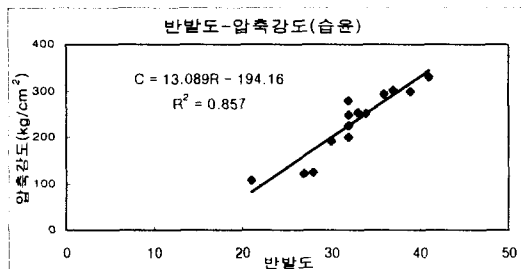


그림 7 습윤시 반발도-압축강도

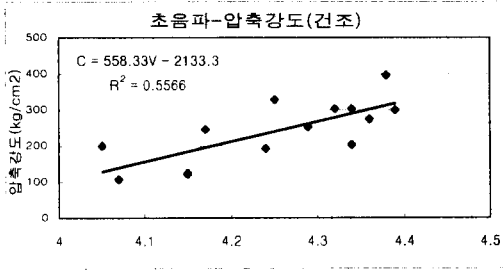


그림 8 건조시 초음파-압축강도

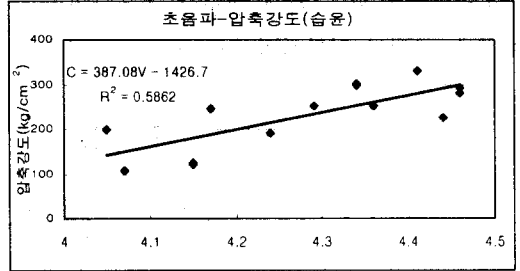


그림 9 습윤시 초음파-압축강도

그리고 인발실험시 골재파쇄면적비와 골재탈락과 인발강도와와의 상관관계를 조사하였다.

그 결과 골재파쇄면적비의 경우 인발강도와 거의 상관이 없는 결과가 나왔고 골재탈락면적비의 경우는 면적비가 클수록 약간 더 인발강도가 크게 나왔으나 신뢰도는 떨어진다.

#### 4. 결론

##### 4.1 인발시험

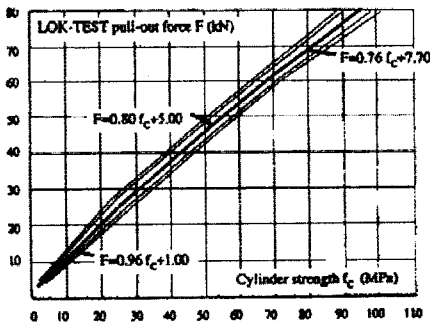


그림 10 인발시험의 기존제안식

왼쪽 그림은 Petersen, C.G.에 의해 제안된 식으로서 단위는 우리나라와 다르기 때문에  $kg/cm^2$ 으로 환산하면 약  $250kg/cm^2$ 까지는  $C=10.2P-10$ 이고 그 이상에서는  $C=12.3P-61$ 의 식으로 표현된다. 우리가 도출한 식은 윗식과 다소 차이가 나지만 그다지 차이가 크지는 않다.

##### 4.2 반발도 시험

$C = 13R-184$ (일본재료학회),  $C = 10R-110$ (동경도 건축재료검사소),  $C = 7.3R+100$ (일본건축학회)로 이미 제안식이 여러차례 발표가 되었다. 이번 실험중 습윤시의 결과는 일본재료학회식과 거의 동일하다.

##### 4.3 초음파 시험

압축강도와와의 일차직선상관식을 도출했으나 상관도는 아주 낮아서 신뢰성은 매우 떨어지는 편이다.

※위 세 실험을 종합적으로 분석하면 모두 건조일때보다 습윤상태일 때 상관도가 더 높아지고 세 시험중에서는 인발실험, 반발도, 초음파법의 순으로 압축강도와와의 상관도가 형성된다는 것을 알수 있다.

#### 5.참고 문헌

- 1.V.M Malhotra, N.J. Carino, "Handbook of Nondestructive Testing of Concrete", CRC press, 1991
- 2.Claus Germann Petersen, "LOK-TEST and CAPO-TEST pullout testing, twenty years experience", Non-destructive Testing in Civil Engineering Conference, 1997.4 pp1-18