

# 염소이온투과시험을 이용한 콘크리트제품의 강도추정에 관한 연구

## A Study on the Strength Estimation Formular of the Precast Concrete Products Using the Chloride Ion Penetrating Test

장 문 기\*(서울대학교 대학원) · 이 정 재(서울대학교)

Jang, Moon Ki · Lee, Jeong Jae

### Abstract

In this study, the chloride ion penetration test and the compressive strength test should be done simultaneously on the standard cylinder specimen. And from analyzing the data from those tests, a strength estimation equation with high credibility is to be developed.

### I. 서 론

콘크리트제품은 공장에서 콘크리트를 타설하여, 양생하므로 품질이 현장조건에 관계없이 일정하며, 조립 시공 되므로 공사기간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 또한 시공 후 보수 관리 등이 용이하여 최근에 와서는 건설·산업분야 뿐만 아니라 공사기간이 한정되어 있는 농업토목 분야에서도 그 사용이 다양화, 보편화되고 있는 반면 제작된 콘크리트제품을 파괴하지 않고 품질을 평가할 수 방법이 미흡하여 콘크리트제품의 품질확보를 위한 현장의 품질평가방법이 시급한 문제로 대두되고 있다.<sup>1)</sup>

비파괴시험법을 이용한 일반콘크리트의 강도 추정은 외국은 1930년대부터, 국내에서는 1960년 후반부터 시작되어 현재 시험의 종류, 사용방법 등이 다양하게 연구되고 있다. 그러나, 콘크리트제품의 경우 비파괴시험기구의 여러 제약으로 현장에서 품질을 평가할 수 있는 비파괴 시험법은 연구가 미약한 형편이다.<sup>2),4)</sup>

콘크리트의 강도는 구조물내부의 공극의 크기와 밀접한 관계를 이루고 있으므로,<sup>1)</sup> 콘크리트 공극의 크기를 간접적으로 검사하여 강도를 측정하기 위한 시험방법으로 콘크리트의 투수성에 관한 연구가 제안된 바 있다.<sup>1),6)</sup>

콘크리트의 투수시험은 시편에 자연상태의 수압 또는 높은 압력으로 물을 강제 투수시켜 Darcy의 법칙에 의하여 투수성을 결정하는 방법을 기본으로 하고 있으나, 조직이 치밀한 콘크리트의 경우 투수되는 수량이 극히 적어 실험에 장시간이 요구되는 문제점이 있으므로 전위차에 의한 염소이온의 투과시험이 권장되고 있다. 염소이온투과시험은 각 시편들간의 뚜렷한 투수특성이 나타나며 또한 빠른 시간 안에 콘크리트 시편의 투수성에 대한 상대적인 지표를 얻을 수 있는 특징이 있는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup>

본 연구에서는 콘크리트제품의 생산과 같은 방법으로 제작한 표준공시체에 염소이온투과량 시험과 압축강도시험을 병행하여, 콘크리트제품의 품질 평가를 위한 신뢰성 있는 압축강도 추

정식을 개발하고자 하였다.

## II. 실험방법

### 1. 공시체 제작

#### 가. 콘크리트 배합

콘크리트제품에 대한 배합설계는 제품의 종류, 제조방법 등에 따라 다소 차이가 있으므로 본 연구에서는 예비실험을 통하여 단위시멘트량(310, 380, 500  $kg/m^3$ )별 각각 목표슬럼프(3.0±1.0cm)와 최고 강도를 나타내는 최적의 단위수량 및 잔골재율을 결정하였으며, 그 배합표를 나타내면 Table-1와 같다.

Table-1 Mix design of Concrete

Cement ( $kg/m^3$ )	W/C (%)	Slump (cm)	S/a (%)	Unit Weight ( $kg/m^3$ )			
				Water	Cement	Fine agg.	Coarse agg.
310	53.8	3.5±1	44.5	167	310	792	988
380	45.0	3.5±1	41.3	171	380	734	1044
500	35.4	3.5±1	41.9	177	500	671	931

#### 나. 공시체의 제작

공시체의 수는 염소이온투과량과 압축강도의 상관성을 위해 표준편차 4, 표준오차 0.8, 신뢰수준 95%로 각 단위시멘트량별 194개씩 제작하여 총 582개를 만들었다. 공시체 제작은 ASTM C 192-76(콘크리트의 강도시험용 공시체제작방법)에 따라 제작하였으며, 다짐은 진동 테이블다짐으로 9±1sec동안 실시하였다.

#### 다. 증기양생

증기양생은 최고온도 70℃, 소요시간 10 hr으로 실시되었다. 공시체를 제작하여 전양생 2hr실시 후 증기양생실로 옮겼으며, 3 hr 동안 70℃로 승온시킨 후 4 hr을 70℃를 유지하였고, 다음으로 스프레이를 이용하여 3 hr동안 대기온도와 같게 하강시켰다.

## 3. 시험방법

### 가. 압축강도시험

압축강도시험은 강도를 측정하기 위하여 습윤양생실에 보관된 재령 14일의 공시체를 꺼내어 연마를 실시 후 압축강도시험을 실시하였다.

### 나. 염소이온투과시험

압축강도와 상관성 도출을 위해 수행된 염소이온투과시험은 ASTM C 1202-94 방법<sup>7)</sup>에 의거하여 수행하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. 압축강도와 염소이온투과량

본 연구는 단위시멘트량별 (310, 380, 500  $kg/m^3$ ) 각 194씩, 총 582개의 표준공시체를 제작하여 압축강도와 염소이온투과시험을 실시하였으며, 그 결과는 Table-2 과 같다.

Table-2. The results of experimentation

Cement ( $kg/m^3$ )		Ave.	M.	S. D.
500	comp. ( $kgf/cm^2$ )	389.54	392.00	28.46
	Cl. (c)	718.99	821.00	86.19
380	Comp. ( $kgf/cm^2$ )	316.11	318.00	26.22
	Cl. (c)	892.10	878.00	85.28
310	Comp. ( $kgf/cm^2$ )	276.72	277.00	21.12
	Cl. (c)	1206.18	1208.00	121.81

Note : comp. : 압축강도 ( $kgf/cm^2$ )

Cl. : 염소이온투과량 (coulombs)

#### 2. 추정식의 유도

본 연구에서는 공시체의 압축강도를 모강도로 설정하여 이를 종속변수로 하고, 염소이온투과량을 독립변수로 설정하여 강도추정식을 개발하였다.

Fig. 2은 Table 2의 결과를 산점도(scatter diagram)로 나타내고 그 위에 다양한 회귀모형을 나타내었다.

$$F_c = -0.174X + 491.56 \quad (R^2 = 0.56)$$

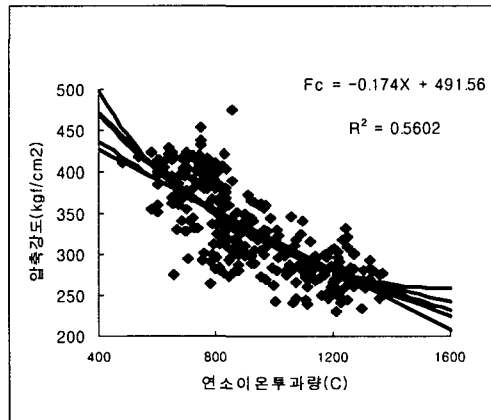


Fig.2 Relationship between concrete compressive strength and chloride ion charge passed  
제시된 여러 회귀모형중에서 직선회귀식은 지수식이나 로그식, 다항식보다 상관계수( $R^2$ )

가 1.6~5.3%정도 낮지만 콘크리트의 강도와 공극의 물리적 관계를 고려할 때 선형회귀모형 (linear regression model)이 콘크리트제품의 강도추정식으로 가장 타당하다고 생각되었다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 콘크리트제품의 품질평가를 위해 제품의 생산 규준에 따라 동일하게 제작한 표준공시체에 염소이온투과시험과 압축강도시험을 병행하여 다양한 회귀모형식으로부터 과학적이고 합리적인 강도추정식을 개발하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 각 단위시멘트량별 증기양생한 공시체의 압축강도와 염소이온투과시험 결과는 변동계수 (coefficient of variation)가 전체적으로 8~12%를 나타내어 실험결과의 변동이 적은 것으로 나타났다.
2. 염소이온투과량과 압축강도의 상관관계를 회귀분석하여 결정계수( $R^2=0.56$ )와 콘크리트의 물리적 성질을 고려할 때, 현장 콘크리트제품의 강도추정에 합리적인 추정식을 유도하였다.
3. 본 연구 결과에서 제시된 강도추정식은 단면이 얇은 현장 콘크리트제품을 대상으로 제작된 콘크리트제품의 품질평가를 위한 추정식으로 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료되며, 콘크리트제품의 품질에 영향을 미치는 내부 골재의 크기와 종류, 양생방법과 재령 등이 고려된 다중상관관계의 강도추정식 정립에 계속적인 연구가 필요하다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Shore, A. T., 1911, Property of Hardness in Metals and Materials, Proceedings. ASTM, v.11, pp. 733-739
- [2] Schmidt, Ernst, 1950, The Concrete Test Hammer (Der Beton-Prüfhammer), Schweizerische Bauzeitung (Zurich), V. 68, No. 28, July 15, p.378
- [3] ASTM C 805, 1979, Standard Method of Test for rebound number of hardened concrete
- [4] British Standard BS 4408, 1971, Part 4 ; Surface hardness methods, Recommendations for non-destructive methods of test for concrete
- [5] ASTM C 597, Standard method of test for pulse velocity through concrete.
- [6] Zhang, T. , Gjorv, O. E., 1994, An Electrochemical Method for Accelerated Testing of Chloride Diffusivity in Concrete, Cement and Concrete Research, v.24, No.8, pp.1534-1548
- [7] ASTM C 1202-94 Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration