

수리구조물에서 콘크리트 압축강도의 통계분석

Statistical Study of Compressive Strength of Concrete in Structures for Irrigation

이창수^{****} 박광수^{***} 신수균^{**} 김관호^{*} 이준구^{*} 김명원^{*}
 Chang-Soo Lee Kwang-Su Park Su-Kyun Shin Kwan-Ho Kim Joon-Gu Lee Meyong-Won Kim

ABSTRACT

The purpose of this paper is to offer a base data of specification, so that the strength information of concrete in the structure for irrigation can be rationally determined the coefficient of variation of an existing irrigation structure and the best fit the ready-mixed concrete strength to specified strength f_{ck} . From analysis of concrete cylinders from about 30 numbers in southern Korea, it was concluded that the coefficient of variation of cylinder strength were approximately 5.9%. On the basis of the core strength test data, it was appeared that the average coefficient of variation for the existing irrigation structure can be taken as 17.8% for strength level 21Mpa.

1. 서론

본 연구는 우리나라 사회간접시설의 하나인 농업기반 수리시설물을 대상으로 현장 콘크리트 구조물의 압축강도와 레미콘 출하강도 조사자료의 통계분석을 바탕으로 수리구조물의 품질변동 폭, 설계기준강도에 적합한 호칭강도 등의 설계 기초자료 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 콘크리트 구조물의 품질변동폭

국내외적으로 표준양생공시체 압축강도의 변동계수(V)에 대한 많은 연구가 이루어졌는데 MacGregor는 21Mpa, 35Mpa에 대한 변동계수를 각각 15%, 12%로 간주하고 있으며, 김²⁾ 등은 설계기준강도 18Mpa, 21Mpa, 24Mpa에 대한 표준양생공시체 강도의 변동계수를 12%로 언급했다.

한편, Mirz는 콘크리트 구조물강도의 변동계수를 ①식으로 추천하였으며, 21MPa, 35MPa에 대한 구조물 강도의 변동계수를 각각 18%, 15%로 산출하였다.³⁾

본 연구는 구조물의 압축강도 변동계수 추정 모델을 Mirz가 추천한 식으로 가정하였다.

$$V^2_{cstrR} = V^2_{ccyl} - 0.0084 \dots\dots\dots ①$$

여기서 V_{ccyl} : 실린더강도의 변동계수, V_{cstrR} : 구조물 강도의 변동계수

2.2 배합강도 산정시 표준양생공시체 변동계수

'99년 콘크리트 표준시방서에 의하면 콘크리트 압축강도의 표준편차를 이용하여 배합강도를 산정하는데 강도 변이를 예상하여 수리구조물과 같은 소규모공사나 공사초기 그 값을 추정하기 불가능 할 경우 s에 0.15 f_{ck} 를 적용하여 표 1의 ③, ④식 중 큰 값을 이용할 것을 권장하였다.

**** 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수
 *** 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 수석연구원
 ** 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 책임연구원
 * 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원

한편, 콘크리트 압축강도의 변동계수(V, 단위%)란 (콘크리트 압축강도의 표준편차, s/콘크리트 압축강도의 평균치, f_{mean}) $\times 100$ 으로 정의된다. f_{mean} 과 f_{cr} 이 같다고 가정하고 s에 대하여 정리하면

$$s = V \times f_{cr} / 100 \dots\dots\dots ②$$

여기서 f_{mean} : 콘크리트압축강도 평균값, f_{cr} : 배합강도

으로 표현되며, 이를 ③, ④식에 대입하여 정리하면 $f_{cr} = \alpha f_{ck}$, $f_{cr} = \beta f_{ck}$ 로 정리되는데, 여기서 α , β 는 할증계수로서 '99년 이전 콘크리트 시방서와 '99 개정 콘크리트 시방서에서 사용하고 있다.

α , β 와 ⑤, ⑥식을 등치로 놓고 풀었을 때 표준양생공시체 변동계수 V(%)는 각각 12%, 11.54%이 된다.

즉, 99 개정 콘크리트 표준시방서에서 는 소규모공사 구조물에서 표준양생 공시체 압축강도의 변동계수가 12%라 는 개념을 채택하고 있다.

표 1 소규모공사 및 표준편차를 추정하지 못할 때 콘크리트 배합강도

배합강도 f_{cr} (Mpa)	할증 (α, β)	표준편차 s	V_{ccyl} (%)	V_{cstrR} (%)
$f_{cr} = f_{ck} + 1.64s \dots ③$ 식	$f_{cr} = 1.246f_{ck} \dots ⑤$ 식	$0.15 f_{ck}$	12	15
$f_{cr} = 0.85f_{ck} + 3.0s \dots ④$ 식	$f_{cr} = 1.30f_{ck} \dots ⑥$ 식			

2003년 개정 시방서에서는 다음 ⑦, ⑧식 중 큰 값을 배합강도의 산정에 이용된다.

$$f_{cr} = f_{ck} + 1.34s \text{ (Mpa)} \dots ⑦$$

$$f_{cr} = (f_{ck} - 3.5) + 2.33s \text{ (Mpa)} \dots ⑧$$

농업기반콘크리트 수리구조물과 같이 소형 구조물에서 배합강도 크기는 표 2로 부터 적어도 설계기준강도의 1.31~1.35 배가 되어야 함을 알 수 있다. ⑦, ⑧식 과 ⑨, ⑩식에 의해 각 설계기준강도별 표준편차가 산출되고, ②식에 의거 표준 양생공시체의 변동계수가 산출되며, ①식

표 2 압축강도의 표준편차를 알지 못할 때 콘크리트 배합강도

f_{ck} (Mpa)	배합강도 f_{cr} (Mpa)	할증	표준편차 s	V_{ccyl} (%)	V_{cstrR} (%)		
21이상 35이하	21	29.5	1.40	17.45	19.71		
	24	32.5	1.35	15.84	18.30		
	27	$f_{ck} + 8.5 \dots ⑨$ 식	35.5	1.31	14.50	17.15	
	30	38.5	1.28	13.37	16.21		
	35	43.5	1.24	11.83	14.96		
35초과	40	$f_{ck} + 10 \dots ⑩$ 식	50	1.25	5.79	11.58	14.77

을 통해 구조물의 변동계수가 산출된다. 즉, 수리구조물의 배합강도 산정시 표준양생공시체의 변동계수(V)는 설계기준강도별로 약 13.37~17.45%, 구조물압축강도 변동계수는 16.21%~19.71%으로 본다는 개념을 '2003년 개정시방서에서 채택하고 있다.

2.3 레미콘의 출하강도와 수리구조물의 품질변동폭

가. 레미콘의 출하강도 분포

수리구조물의 실질적인 품질변동폭과 구조물에 타설된 레미콘의 표준양생공시체 품질변동폭을 확인하기 위해 경기도의 5개도 30개소 수리구조물에 납품되었던 전국 20개 레미콘 공장을 방문하여 호칭강도별 압축강도 자료를 구득하였으며, 평균압축강도, 표준편차, 변동계수는 그림 1에 나타내었다. 배합강도 할증범위는 1.16~1.23, 변동계수V(%)는 8.22 ~ 9.59%로 분포하였다.

호칭강도와 설계기준강도가 같다고 가정한다면 '2003년 콘크리트 표준시방서상의 설계기준강도 30Mpa이하의 변동계수 13.37 ~ 17.45% 보다 전국 레미콘회사에서 적용하고 있는 변동성은 상당히 작게 분포하였다. 30개소 수리구조물에 납품된 호칭강도 21Mpa의 표준양생공시체 압축강도자료에 대한 통계분포는 그림2와 같이 평균 25Mpa, 표준편차 1.47Mpa, 변동계수 5.9%을 갖는 정규분포(Normal distribution)에 가까운 분포를 따름을 알 수 있었고, 레미콘의 표준양생공시체 압축강도 평균치 = 레미콘 호칭강도 1.21배(121%), 즉, $f_s = 1.21 f_n$ (28일 양생 출하강도 평균=호칭강도의 1.2배)이고, 표준양생공시체의 변동계수는(V) 5.9%로 분석되었다.

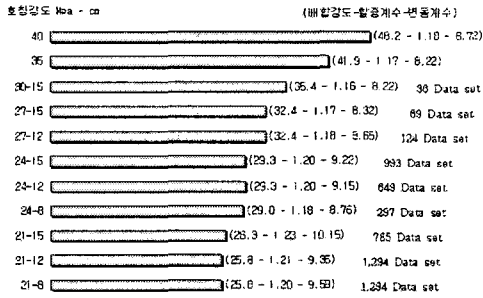


그림 1 전국 레미콘 현황

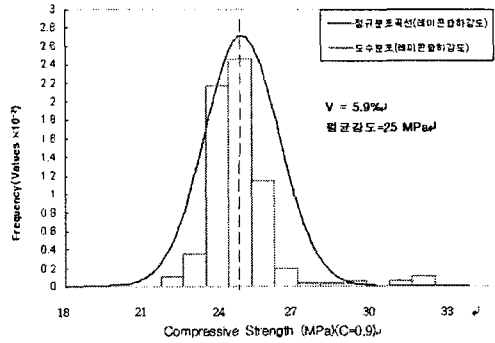


그림 2 레미콘의 표준양생 공시체 압축강도 분포

나. 수리구조물 압축강도 분포

수리구조물의 압축강도 분석에 대한 데이터 획득은 정밀현장조사 30지구에 대한 콘크리트 코어를 지름100mm 코어 드릴을 사용하여 30개소 수리구조물에서 총 270점을 채취하였다. KS F 2422의 시험 방법의거 실시하였으며, 적절한 보정계수와 $\phi 100 \times 200$ mm의 공시체 사용에 따른 보정계수를 고려하여 산출하였다. 그 분포는 그림 3와 같이 평균 20.5Mpa, 표준편차 3.65Mpa, 변동계수 17.8%을 갖는 정규분포(Normal distribution)를 따름을 알 수 있었다. 또한 수리구조물의 변동계수가 $V = 17.8\%$ 으로 시방서 제안치 19.71%보다 약간 낮으며, Mirz가 21Mpa을 갖는 콘크리트에 대해 분석한 18%와 비슷하였다^{1,3)}. 즉, 양질의 레미콘 타설해도 품질관리 여건이 불량하여 구조물내 공극 증가, 강도저하, 품질변동 폭이 과다하게 발생한 것으로 판단된다.

2.4 수리구조물 압축강도 분포에 따른 설계기준강도와 호칭강도 상관성

수리구조물의 강도분포에 따른 설계기준강도 f_{ck} 와 호칭강도 f_n 의 상관성은 내하력 측면과 품질관리 측면에서 설계기준강도와 호칭강도 f_n , 표준양생공시체강도 f_{sm} 의 관계를 표 3 및 그림4에 요약해 놓았다. 내하력 측면에서 안전기준 만족 조건은 위험도 1.5%일 때 호칭 강도 f_n 는 설계기준강도 f_{ck} 의 1.21배가 되며, 품질관리 측면에서 표준양생공시체강도 f_{sm} 는 설계기준강도 f_{ck} 에 1.21배가 된다. 따라서 표준양생공시체강도 f_{sm} 와 호칭강도 f_n 가 같게 된다. 한편, 전국 레미콘 납품시 표준양생공시체강도 f_{sm} 조사자료 분석에 의하면 호칭강도 f_n 21Mpa의 경우 표준양생공시체강도 f_{sm} 는 호칭강도

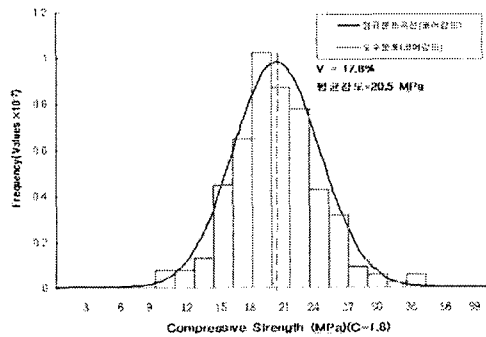


그림 3 수리구조물 콘크리트코어 압축강도 분포

f_n 에 1.21배가 된다. 그러므로, $f_n = f_{ck}$ 가능하며, 안전기준을 만족하기위한 위험도 1.5%에서 호칭강도 f_n 가 설계기준강도 f_{ck} 보다 21% 큰 레미콘이 필요하게 된다.

3. 결 론

농업기반 수리시설물중 용수로 간선, 지선을 대상으로 수리구조물의 압축강도와 레미콘의 출하 시 표준 양생공시체강도 조사자료의 통계분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 호칭강도와 설계기준강도가 같다고 가정할 때, 2003년 콘크리트표준 시방서상의 설계기준강도 30Mpa이하의 표준양생공시체 변동계수는 13.37% ~ 17.45%이며, 반면 수리구조물에 납품된 전국 20개 레미콘공장의 호칭강도 21Mpa ~ 40Mpa에 대한 표준양생공시체의 변동계수(V%)는 8.22% ~ 9.59%로 품질변동을 시방서 기준보다 다소 적게 적용하고 있는 것으로 판단되었다.
- 2) 현장조사 30지구에 납품된 호칭강도 21Mpa의 재령 28일 압축강도 통계 분포는 평균이 25Mpa, 표준편차 1.47Mpa,을 갖는 정규분포(Normal distribution)에 가까운 분포를 따름을 알 수 있었다.
- 3) 수리구조물의 압축강도 분포는 평균 20.5Mpa, 표준편차 3.65Mpa, 변동계수(V) 17.8%을 갖는 정규분포(Normal distribution)에 가까운 분포를 따름을 알 수 있었다. Mirza가 21Mpa대하여 분석한 변동계수 18%와 비슷하였다.

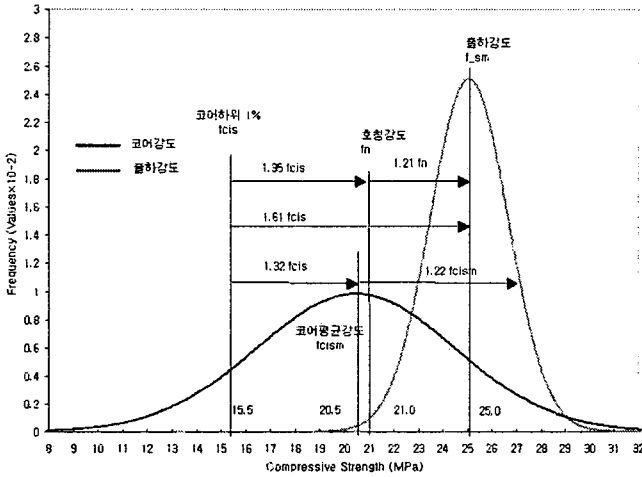


그림 4 수리구조물 압축강도와 레미콘출하강도분포

표 3 설계기준강도 f_{ck} 와 호칭강도 f_n 상관성

시방규정	비고
[안전도측면]	[안전기준 만족조건]
3개 코어 각각의 압축강도 $\geq f_{ck}$ 의 75%	$f_n = 1.21 f_{ck}$ (1.5% 위험도)
3개 코어의 평균 압축강도 $\geq f_{ck}$ 의 85%	
[품질관리 측면]	[출하강도 만족조건]
3회 시험평균이 f_{ck} 아래로 되는확률 1%이하	$f_{sm} = 1.21 f_{ck}$ $f_{sm} \approx f_n$
1회의 시험값이 f_{ck} 아래로 35MPa 초과 확률 1%	※ $f_{sm} = 1.21 f_n$ 레미콘현황: $f_n = f_{ck}$ 가능

- 4) 내하력 측면과 품질관리 측면에서 설계기준강도와 호칭강도, 표준양생공시체 강도의 상관성은 호칭강도와 설계기준강도가 같다는 개념과 내하력 측면에서 안전기준 만족을 위한 위험도 1.5%를 적용할 때 호칭강도 f_n 가 설계기준강도 f_{ck} 보다 21% 큰 레미콘이 필요하다.

참 고 문 헌

1. MacGregor, J.G., Mirza, S. A. et al., "Statistical Analysis of Resistance of Reinforced and Prestressed Concrete Members," ACI Journal, May-June, pp.167-176, 1983.
2. 김상효 외, "현장타설 콘크리트 압축강도의 확률적 분포," 콘크리트학회지, 제1권 2호, 1989, pp 93~100.
3. Mirza, S. A. et al, "Statistical Description of Strength of Concrete," ASCE, V105, No. ST6, pp.1021-1037, 1979.