

콘크리트 수리구조물의 품질상태와 개선방향

The quality condition of concrete in the hydraulic structures and a plan improving Quality

박 광 수 · 신 수 균 · 김 관 호 · 이 준 구 · 김 명 원 · 장 단 금*(농기공)

Park, Kwang Su · Shin, Su Kyun · Kim, Kwan Ho · Lee, Joon Gu ·

Kim, Meyong Won · Jang, Dan Gum*

Abstract

The actual quality of the concrete in the structure for Irrigation may differ from that represented by the cylinders because the age, consolidation, or curing of the in-place material may not be well represented by the standard test specimens. The objective of this paper is to offer a base data of specification is the best fit the ready-mixed concrete strength to the specified, and to address this deficiency, so that the strength information of the concrete in the structure for Irrigation can be rationally accounted for in the assessment of the quality condition of this. The strength of concrete in the hydraulic structures is checked using strength of core obtained from that, and 28-day-old cylinder strength is analyzed using cylinder data of the ready-mixed concrete.

1. 서론

농업기반 콘크리트 수리구조물과 같이 소규모공사나, 산간지, 차량진입 여건이 어려운 시공환경에서 실제 콘크리트 구조물의 압축강도는 품질관리 측면에서 실시된 표준양생 공시체 압축강도와 더욱 차이가 날 수 있음을 고려해야한다.

본 연구의 목적은 농업기반 수리시설물중 용수로 간선, 지선을 대상으로 현장 콘크리트 구조물의 품질과 레디믹스트 콘크리트의 품질을 통계적인 방법으로 분석하여 수리구조물의 품질상태를 평가하고 향후 수리구조물 설계시 기초자료를 제시하고자 함이다.

2. 본론

2.1 연구방법

수리구조물의 품질변동 상태와 설계기준강도에 적합한 호칭강도 선정기준을 분석하기 위해 그림 1 과 같이 현장조사와 실내시험 및 분석 통하여 연구가 수행되었다.

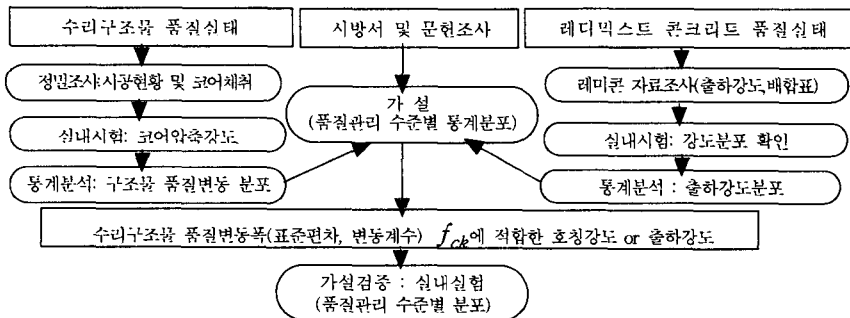


그림 1 연구목적에 따른 추진 체계

2003년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)

2.2 콘크리트 구조물의 품질변동폭

2.2.1. 콘크리트의 배합선정

콘크리트 표준시방서는 구조물에 사용된 콘크리트의 압축강도가 설계기준강도보다 작아지지 않도록 현장 변동성을 충분히 고려하여 콘크리트의 배합강도는 다음 (1)식, (2)식 중 큰 값으로 선정되며, 두식에 적용되는 표준편차는 실제 공사현장의 품질관리와 비슷하게 시험배합을 실시하고, 30회 이상 연속 시험을 통해 결정하는 것을 원칙으로 제시하고 있다.

$$f_{cr} = f_{ck} + 1.34s \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (1)$$

$$f_{cr} = (f_{ck} - 3.5) + 2.33s \text{ (MPa)} \dots\dots (2)$$

한편 ACI에서는 공사현장에서의 품질변동성을 실측 통계값을 토대로 5등급의 품질관리 상태별 표준편차로 제시하고 있다. 그림 2에서 오른쪽 정규 확률 분포곡선 3개는 (1)식, (2)식에서 $f_{ck}=21\text{MPa}$ 일 경우 ACI에서 추천한 표준편차를 적용하여 품질관리가 excellent, good, poor한 현장 일 때 요구되는 배합강도의 확률 분포를 나타낸 것이다. 또한, 그림 2에서 왼쪽 정규 확률 분포곡선 3개는 동일한 배합강도로 만들어진 콘크리트가 품질관리환경이 excellent, good, poor한 공사현장에서 나타날 가상 평균강도와 가상 확률분포를 나타낸 것이며, 각 품질관리 수준별 현장에서 요구되는 배합강도와 대칭이 될 것이라는 가설을 세워 나타낸 것이다.

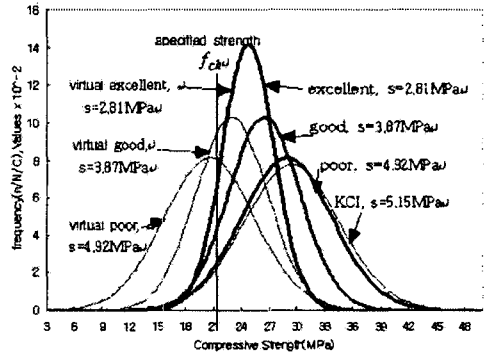


그림 2 현장변동성에 따른 강도분포

그림2의 오른쪽 3개의 확률분포에서 알 수 있는 것처럼 품질관리가 열악(poor)한 공사현장에서는 더높은 평균강도가 요구되어야 함을 보여주고 있다. 또한, 가설로 세워진 확률분포에 있어서 동일한 배합강도를 가진 콘크리트를 공사현장에 납품시 품질관리가 열악한 환경 하에서는 가상 평균강도가 작아지리라 예상된다.

한편, 수리구조물의 품질관리 환경이 농한기 단기간에 집중되어있고 소규모로 구조물 공사가 이루어지지 때문에 공사초기 시험배합을 통한 표준편차를 산정 할 여유가 없고 그 값을 알 수가 없다. 따라서 농업기반콘크리트 수리구조물과 같이 소형 구조물의 배합강도는 표 1의 배합강도와 같이 산정 할 수 있으며 표준편차는 표1의 배합강도와 (1)식, (2)식으로부터 구할 수 있다. 수리구조물과 같이 소형구조물공사나 표준편차를 알 수 없을 경우 설계기준강도별 표준편차는 표1 및 그림2에 나타난 것 같이 품질관리가 열악한(poor) 공사현장의 표준편차 이상으로 나타난다는 개념을 '2003년 개정시방서에서 채택하고 있다.

일반적으로 건설공사현장의 품질관리 등급이 공사현장에 따라 다를 수 있으며, 공사초기 시험배합에 의한 표준편차 값으로 배합강도를 산정하지 않고, 레미콘 호칭강도와 설계기준강도가 같다는 개념으로 시공이 이루어져 현장변동성을 고려하지 않은 레미콘 타설이 이루어지고 있는 것이 현실이다.

표 1 압축강도의 표준편차를 알지 못할 때 콘크리트 배합강도		
설계기준강도, f_{ck} MPa(psi)	배합강도, f_{cr} MPa(psi)	표준편차 s
21 (3,000)-35 (5,000)	$f_{ck} + 85$ (1,200)	5.15
35초과 (5,000)초과	$f_{ck} + 10$ (1,400)	5.79

2.2.2 레미콘 출하강도와 수리구조물의 품질변동폭

수리구조물의 실질적인 품질변동폭을 확인하기 위해 설계기준강도가 21MPa로 설계된 총 30개 수리구조물에서 270점의 코어를 채취하고, KS F 2422의 시험방법의 거 강도시험을 실시하였으며, 코어 압축강도 분포는 적절한 보정계수와 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 의 공시체 사용에 따른 보정계수를 곱하여 그림 4에 나타내었다. 경기도의 5개도 30개소 수리구조물에 납품되었던 레미콘의 표준 양생공시체 품질변동폭을 확인하기 위해 전국 20개 레미콘 공장을 방문하여 슬럼프와 호칭강도별 21MPa ~ 40MPa의 납품시 압축강도 자료를 구득하고 데이터를 정리하여 그림 3에 나타내었고, 수리구조물에 납품된 호칭강도 21MPa의 표준양생 공시체 압축강도 분포는 그림 4에서 우측 정규 분포로 나타내었다.

그림 3에서 비록 전국 평균이기는 하지만 전국 20개 레미콘 공장의 슬럼프별 호칭강도 21MPa의 표준 양생공시체 평균강도의 범위가 25.8~26.3MPa, 표준편차 범위가 2.5~2.7MPa로 분포되었으며, 그림4의 좌측에 나타낸 분포는 수리구조물에 납품되었던 호칭강도 21MPa의 표준 양생공시체 압축강도 분포이며, 압축강도 평균이 25MPa, 표준편차가 1.47MPa를 갖는 분포를 가졌다. 위와 같은 사실에서 레미콘의 표준 양생공시체 강도분포는 품질관리가 excellent 한 공사현장에 견주어 생산된 것이라 판단 할 수 있다.

반면, 콘크리트 수리구조물의 압축강도는 강도 평균이 20.5MPa, 표준편차가 3.65MPa, 변동계수가 17.8%를 갖는 정규분포(Normal distribution)를 따르며, 그림 4와 그림 2에 나타낸 가상 정규분포 중 poor control과 비교했을 때, 평균압축강도가 같고 표준편차 값이 1.27MPa 만큼 낮은 분포를 나타내었다. 즉 수리구조물의 품질관리 환경이 열악하다는 것을 말해주고 있는 것이며, 공사현장의 품질관리가 excellent control 환경인 경우에 견주어 배합강도를 산정한 레미콘 타설로 열악한 공사현장의 품질 변동성이 반영되지 않아 구조물내 공극 증가, 강도저하, 품질변동폭이 과다하게 발생하였다고 판단된다.

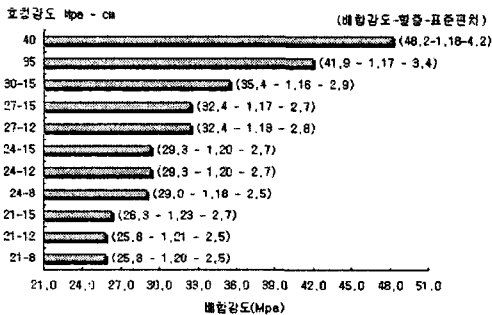


그림 3 전국 레미콘 현황

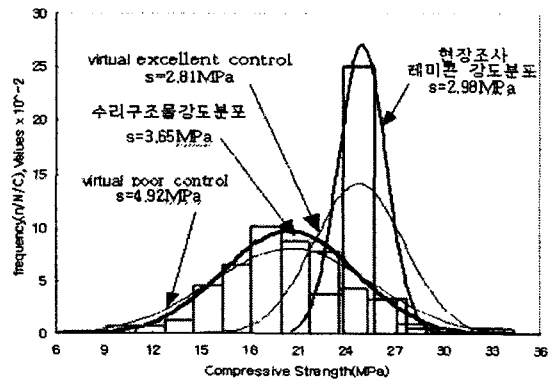


그림 4 레미콘의 표준양생 공시체 및 수리구조물 압축강도 분포

2.3 농업기반 콘크리트 수리구조물에 적합한 호칭강도 or 배합강도

수리구조물의 압축강도 분포가 가상 정규분포 중 poor control한 공사현장과 비슷하게 분석되었다. 이는 수리구조물의 품질관리 환경이 농한기 단기간에 집중적으로 소규모 구조물 공사가 이루어지는 열악성 때문일 것이라 판단된다.

따라서 앞절에서 언급한 가설에 따른다면 poor한 수리구조물 공사환경에 적합한 소요배합강도는 poor한 공사현장 상태에서 통계 값으로 제시한 ACI 214의 표준편차를 적용하여 산출하거나 2003년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2003년 11월 1일)

콘크리트 표준시방서에서 표준편차를 알 수 없을 때, 표 2에 나타난 것처럼 설계기준강도별로 제시된 값으로 정해야 할 것이다. 표 2는 예상되는 공사 현장의 표준편차를 알지 못할 때 수리구조물의 설계기준강도에 요구되는 배합강도와 전국 레미콘의 호칭강도 및 호칭강도별 표준 양생공시체 강도를 나타낸 것이다.

표2에서 알 수 있는 것과 같이 설계기준강도와 호칭강도가 같다는 일반화된 개념이 수리구조물에서는 수용하기가 어려우며, 수리구조물의 압축강도 분포가 제시된 가설에 따른다고 할 때 설계기준강도에 적합한 레미콘 호칭강도는 설계기준강도가 21MPa일 때 $f_n = 1.14 f_{ck}$ 또는 설계기준강도에 적합한 소요배합강도를 나타내는 호칭강도가 된다.

표 2 설계기준강도에 적합한 배합강도, 호칭강도, 출하강도관계

f_{ck} MPa	소요배합강도, f_{cr} MPa(psi)		전국레미콘 현황		f_{ck} 에 적합한 $f_{n,or}$ (출하강도)	$f_{ck} \Leftrightarrow f_n$ 상관성	
	KCI	가설	호칭강도	출하강도			
21	$f_{ck} + 85$	29.5	28.9	21	25.9	24 (28.9)	$f_n = 1.14 f_{ck}$
24		32.5	31.9	24	29.2	27 (31.9)	$f_n = 1.13 f_{ck}$
27		35.5	34.9	27	32.4	30 (34.9)	$f_n = 1.11 f_{ck}$
30		38.5	37.9	30	35.4	35 (37.9)	$f_n = 1.17 f_{ck}$
35		43.5	42.9	35	41.9	-	$f_n = 1.14 f_{ck}$

여기서 f_{ck} : 설계기준강도, f_{cr} : 배합강도, f_n : 레미콘 호칭강도

2.4 수리구조물의 품질변동 과다원인

농업기반시설중 용·배수로 구조물은 주로 산악지역과 평야부에 분산적으로 설치되는 특성 때문에 공사에 필요한 자재·장비의 접근이 어려워 콘크리트의 압축강도 또는 구조물 치수 변동폭이 일반적인 대형 구조물보다는 매우 크다. 또한 농한기인 동절기 단기간에 전국의 공사가 동시에 집중되므로 품질관리가 열악하며, 양생용수의 확보가 곤란하여 초기 습윤양생이 곤란한 상태에 더하여 산재된 소형구조물을 단기간에 완성하기 위하여 불충분하게 다질 경우에는 콘크리트 조적내부에 발생하는 공극량이 더욱 증가하기 때문에 품질변동폭이 과다하였을 것으로 판단된다.

3. 결론 및 금후과제

콘크리트 수리구조물의 품질상태와 레미콘 출하강도 조사자료의 통계분석 및 시방기준을 토대로 한 가설을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 수리구조물의 평균 압축강도는 20.5MPa, 표준편차는 3.65MPa, 변동계수는 17.8%로 정규분포(Normal distribution)를 따르며, 가상 정규분포 중 poor control한 경우와 비교했을 때 평균 압축강도가 같고 표준편차가 1.27MPa 만큼 낮은 분포로 수리구조물의 품질관리 환경이 열악하다는 것을 입증하는 것이며, 레미콘의 호칭강도가 공사 현장의 품질관리가 excellent control 환경인 경우에 견주어 배합강도를 산정한 것으로 납품되어 열악한 공사현장의 품질 변동성이 반영되지 않아 구조물내 공극 증가, 강도저하, 품질변동폭이 과다하게 발생하였다고 판단된다.
- 2) 설계기준강도와 호칭강도가 같다는 일반화된 개념이 수리구조물에서는 수용하기가 어려우며, 수리구조물의 압축강도 분포가 제시된 가설에 따른다고 할 때 설계기준강도에 적합한 레미콘 호칭강도는 설계기준강도가 21MPa일 때 $f_n = 1.14 f_{ck}$ 또는 설계기준강도에 적합한 소요배합강도를 나타내는 호칭강도가 된다.
- 3) 조사된 전국 레디믹스트 콘크리트 배합표의 실험·분석 후 적정 수정 배합표를 도출하고, 시험배합을 품질관리 수준에(excellent, good, poor) 따라 실험함으로써 제시된 가설 분포를 검증해야하는 것이 과제로 남아있다.

참고문헌

1. ACI 214-77 Recommend Practice For Evaluation of Strength Test Results of Concrete.
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서, 2003
3. 박광수, "수리시설물 품질개선 방안연구 연구보고서", 농림부 농어촌연구원, 2002.12