

농업용 수리구조물의 내구성 설계방안 연구

The Study on the design of durability of Concrete in Agricultural Hydraulic Structures

박광수* 김명원* 김관호* 이준구*

Park, Kwang Su Kim, Meyong Won Kim, Kwan Ho Lee, Joon Gu

ABSTRACT

Hydraulic structures have been constructed with low cost concrete so as to increase the investment efficiency. But, it has caused to produce structures having excess internal voids inside concrete. As the construction of agricultural irrigation and drainage project is concentrated on off-farming season and scattered in wider area, variation of quality of structures is big and it caused increase of internal voids. Due to that reason, hazardous substance is passing rather freely through the voids causing occur of crack and accordingly life time of structures is getting shortened. It is necessary to make a thesis of design criteria for design strength to increase life time, range of variation of quality, strength of ready-mixed concrete proper to design strength, and water-cement ratio and air content.

1. 서론

최근 콘크리트 구조물의 내구성 설계개념이 상당히 중요시 여겨지고있으며, 선진 외국에서는 이미 콘크리트 구조물에 대한 안전성, 사용성과 장기간의 품질 확보를 위한 내구성 설계 시도가 이루어지고 있는 실정이다. 그 동안 어려웠던 국내의 경제적 현실을 고려한 낮은 초기투자비용으로 다수의 시설물을 축조하는 정책이 지속되어 왔고, 이로 인한 구조물 수명단축과 재 건설산업은 국토환경훼손과 폐기물 발생 문제가 대두되었다. 따라서 향후 시설물 축조시에는 세계화 추세에 맞춰 구조물의 내구성, 경제성, 환경성을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 우리나라의 농촌과 농업에 필요한 각종 용수를 안전하고 원활하게 생산·저류, 공급하는 사회간접시설의 하나인 농업기반 수리시설물중 용수로로 대상으로 조사·분석한 자료를 바탕으로 향후 콘크리트 수리구조물의 내구성 설계방향을 제시하고자 한다. 콘크리트 수리구조물의 내구성설계에 대한 시방기준 검토, 수리구조물의 품질변동과 내하력, 품질관리, 내구성측면에서 설계기준강도(f_{cu})와 호칭강도(f_{ck})와의 상관성 등 콘크리트 수리구조물의 내구성 설계방안에 대한 연구를 수행하였다.

2. 수리구조물의 설치 특성과 품질변동 및 설계기준강도

2.1 설치특성

농업기반 콘크리트 수리구조물은 목표내구연한 동안 그 기능이 유지될 것이라 기대하고 투자효율을 높이는 방향으로 설계, 시공, 사용되어 왔다. 즉, 정책 및 설계단계에서는 초기 건설비가 적게 드는 설계기준강도가 낮은 저가의 다공질 콘크리트로 설계되었고, 시공환경적으로는 동절기 단기간에 공사를 수행, 소규모공사로 소형 구조물이 넓은 지역에 산재, 접근로 열악 등으로 시공중 품질관리 여건이 열악하다. 더구나, 유지관리 환경은 소규모 및 광역산재로 유지관리 및 개보수가 곤란하고, 사용환경은 관개 및 비관개 기간 동안에 구조물의 표면과 배면이 항시 물과접촉, 건설, 동결융해가 반복되는 환경하에 있다.

* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원
** 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 수석연구원

따라서 공사 중 높아진 품질변동폭으로 인해 내부 공극이 과도한 구조물이 사용기간동안의 열악한 환경조건과 맞물려 콘크리트 수리 구조물의 수명이 가속적으로 단축되는 특성이 있다.

한편, 수리구조물은 작용하중이 작아 내하력 보다는 내구성이 결정적으로 중요한 구조물이며, 파괴 시 피해가 적어 구조물의 안전관리에 대한 사회적 관심도가 낮고, 구조물의 개보수 경우 단면 협소, 기계화 작업 난해, 부재가 많아 부분적 개보수가 어려워 구조물 전체를 헐고 재 설치 형태가 많다. 또한 설계기준강도를 증가시켜도 소요 피복두께, 시공상 필요한 최소두께 등으로 인해 단면두께가 증대되지 않는 구조물이다. 일반적으로 수리구조물에 적용하고있는 설계기준강도는 구조물 종류별로 21~27MPa범위에 있다.

2.2 품질변동 및 설계기준강도

일반적으로 콘크리트는 재료, 배합, 취급과 타설, 양생, 실험 등 다양한 변화 조건으로 인하여 다른 재료보다 본질적으로 변동성이 크기 때문에 콘크리트 표준 시방서에서는 구조물 설계시 콘크리트의 강도가 설계기준강도보다 작아지지 않도록 현장변동성을 고려하여 배합강도를 산정 하도록 하고 있다. 여기서 설계기준강도는 콘크리트 구조물이 사용기간 내내 적어도 나타낼 것이라고 예측하여 설계자가 기준으로 삼는 압축강도이며, 설계기준강도를 기초로 시공되는 구조물은 품질관리 수준에 따라 콘크리트 배합강도를 달리하여 시공된다. 콘크리트 표준시방서에 의하면 수리구조물과 같은 소규모공사 경우의 배합강도는 $f_{ck} = 21 \sim 27 \text{ MPa}$ 경우 $f_{cr} = (1.31 \sim 1.40) f_{ck}$ 로 규정됨을 알 수 있다.

3. 내구성 설계에 대한 국내외 관련시방

최근 개정 시방서는 내하력 및 내구성 설계를 동등한 비중으로 취급하고 있다. 습한상태에서 동결융해작용을 받고 수로, 수조, 교대, 교각, 옹벽 등 수면에 가까워 포화되거나, 수면에서 멀어도 우수나

물보라로 포화되는 속성을 갖는 농업기반 콘크리트 수리구조물의 경우 내구성 설계를 반드시 반영해야할 조건을 표 1과 같이 반영하고 있다.

공기량 (%)	물-시멘트비 (%)	설계기준강도 (MPa)
6.0±1.5	45이하	30이상

4. 국내 레미콘현황과 호칭강도 선정실태

국내 600여개 업체 레미콘 현황에 따르면 공장마다 공급하는 레미콘의 출하강도 크기가 서로 다르지만 호칭강도에 대한 배합강도 분포는 대략 (1.1.2 ~ 1.33) $f_{cr} = 1.20f_n$ 으로 분포하는 것으로 알려져있으며, 시방서에 반영되어 있는 수리구조물과 같은 소규모공사 경우의 배합강도 $f_{cr} = (1.31 \sim 1.40) f_{ck}$ 보다 낮음을 알 수 있다. 한편 콘크리트 구조물 시공시 설계기준강도와 호칭강도가 같다는 개념으로 레미콘 호칭강도를 선정하여 시공함으로써 내구성이 제일 중요한 수리구조물 설계에는 불합리함을 알 수 있다.

5. 수리구조물의 품질변동에 대한 연구결과

농업용 수리구조물의 품질변동폭을 분석하기 위해 배수개선, 경지정리, 수리시설개보수, 대단위, 농업용 수사업지구를 대상으로 설계기준강도가 21MPa인 용수개거, 옹벽, 암거, 교량날개벽등 총 31지구 40개소 구조물에서 코어채취를 통해 품질변동폭을 분석하였으며, 그 분포는 평균 19.8MPa, 변동계수 22.78%을 갖는 정규분포(Normal distribution)를 따랐다. 그림 1은 수리구조물 콘크리트코어 압축강도 분포를 나타낸것이다. 비록 호칭강도 21MPa의 레미콘을 타설 하였을지라도 구조물 내 콘크리트의 압축강도(코어강도) 평균치는 호칭강도의 94%에 불과하였고, 구조물내 50%이상의 콘크리트 압축강도(코어강도)가 설계기준강도 보다 낮아 변동폭이 매우큼을 알 수 있었다. 한편, 총 31지구 40개소 구조물에 납품된 호칭강도 21MPa의 출하강도 분포는 레미콘의 출하강도 평균치 = 레미콘 호칭강도 1.21배(121%), 즉, $f_c = 1.21 f_n$ (28일 양생 출하강도 평균=호칭강도의 1.2배)이고, 출하강도 평균이 24.6MPa, 변동계수가 6.4%으

로 정규분포(Normal distribution)에 가까운 분포를 따름을 알 수 있었으며, 그림2는 레미콘 출하강도 분포를 나타낸것이다. 품질관리수준이 excellent 상태에 해당하였다²⁾. 한편, 코어압축강도의 변동계수(V=22.7%)가 납품된 레미콘 출하강도의 변동계수(V=6.4%)보다 큰 원인은 압축강도 변동폭이 좁은 레미콘을 타설해도 수리구조물의 품질관리 여건이 동결기 단기간공사, 산간지 및 평야부에 구조물이 넓게 산재되는 등 매우 열악하여 구조물내 공극 증가하고 이로 인한 압축강도 저하와 분산폭 과다로 이어진 것으로 보여진다.

6. 수리구조물의 내구성에 관한 연구결과 및 내용

레미콘공장의 호칭강도 21 ~30MPa의 시방배합표를 수집하여 대표배합비를 도출하였으며, 실험조건은 슬럼프 15cm, 공기량 3.0%, 6.5%, OPC, BFS, FA를 대상으로 내구성 평가실험(염소이온 투과 저항성 실험과 동결융해 저항성실험)을 실시하고 그결과를 그림3, 그림4에 나타내었다. 염소이온투과 저항성 실험 결과는 그림 3에서 물-시멘트비가 44.5% 이하(호칭강도 30MPa 이상)에서 국내외의 콘크리트 표준시방상서의 내구성 기준을 만족하였고, 이경우의 염소이온투과성은 ASTM C 1202 기준에 의한 "Low"에 해당된다. 따라서, 국내의 콘크리트 표준시방서 기준과 연구결과를 종합하면 내구성을 위한 콘크리트 수리구조물의 물-시멘트비는 혼화재

종류에 관계없이 45%(호칭강도 30MPa 이상)이하여야 함을 알 수 있었다. 동결융해 저항성은 혼화재의 종류와 관계없이 공기량(3.0%, 6.5%)에 따라 그림 4와 같이 현저한 차이를 나타냈으며, 동결융해 저항성을 확보하기 위해선 목표 공기량을 6.5% 전후로 정하여야 할 것으로 판단할 수 있었다.

7. 수리구조물에서 설계기준강도,호칭강도 상관성

그림 1과, 그림 2에서 각각의 코어강도는 설계기준강도의 75%이상이며, 3개 코어압축강도의 평균치는 설계기준강도의 85%이상인 되어야 구조적으로 안전하다는 기준을 만족시키기 위한 상관식은 위험확률 7%에서 $f_n = 1.2 f_{ck}$ 로 분석되었다. 또한, 품질관리 측면을 만족시키기 위한 레미콘 출하강도 평균치 = 호칭강도의 1.2배($f_{sm} = 1.20 \times f_n$)로 분석되었다. 따라서, 현행 관행처럼 설계기준강도=호칭강도로 선택할 경우 $f_{sm} = 1.20 \times f_{ck}$ 이되고, 위험확률 7.0%를 채택한 안전도 측면에서는 $f_n = 1.20 \times f_{ck}$ 이므로 결국 $f_{sm} \approx f_n$ 라는 모순점에 봉착하게된다. 그리고 f_{sm} 과 f_{ck} 의 상관식은 $f_{sm} = 1.2 f_n = 1.2 \times 1.2 f_{ck} = 1.44 f_{ck}$ (7.0% 위험도)로 출하강도 평균치(즉 목표 출하강도)가 설계기준강도의 1.44배인 레미콘 호칭강도를 선정하더라도, 여전히 7%의 위험도를 내포하고 있다. 한편 내구성측면에서는 목표 공기량 6.5%, 물-시멘트비가 44.5% 이하(호칭강도 30MPa 이상)에서 콘크리트 표준시방서의 내동해성 기준을 만족하는 것으

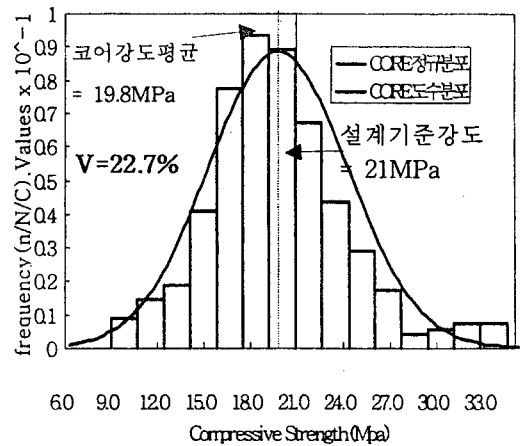


그림 1 수리구조물 콘크리트코어 압축강도 분포

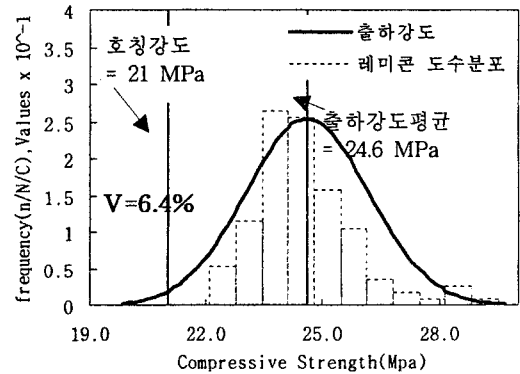


그림 2 레미콘 출하강도 분포

로 나타나 시방서 기준과 연구결과를 종합하면 내구적인 수리구조물을 설계하기 위해서는 혼화재 종류에 관계없이 목표 공기량은 6.0% 이어야 하고, 운반 후 공기량손실은 $\pm 1.5\%$ 이내여야 하며, 물-시멘트비는 $\leq 45\%$ (호칭강도 30MPa 이상)여야 함을 알 수 있었다.

또한 전국 26개 레미콘 공장이 생산하는 호칭강도 21~30MPa의 배합설계표 분석결과 내구성 조건(물시멘트비 45% 이하, 공기량 $6.0 \pm 1.5\%$)을 만족하는 호칭강도는 30MPa (물-시멘트비 범위 : 38.7% ~ 43.8%, 평균 : 42.2%) 이상으로 분석되었다. 따라서 내구적인 수리구조물 설계를 위해서 호칭강도 30MPa 이상 레미콘으로 설계 및 시공하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

8. 결론

농업기반 수리구조물의 설계자료와 구조물에서 채취한 코어 및 구조물에 반입된 레미콘의 대표배합에 의한 내구성 실험연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 총 31지구 40개소 수리구조물에서 채취한 코어 압축강도 분포분석을 통하여 구조물의 품질변동을 검토한 결과 평균 19.8MPa, 변동계수 22.7%를 갖는 정규분포(Normal distribution)를 갖는 것으로 나타났다.

2) 수리 구조물에 사용된 호칭강도 21MPa의 출하강도 분포는 레미콘의 출하강도 평균치 = 레미콘 호칭강도 1.21배(121%), 즉, $f_s = 1.21 f_n$ 이고, 출하강도 평균이 24.6MPa, 변동계수가 6.4%로 품질관리정도가 excellent 상태에 해당하였다.

3) 전국 26개 레미콘 공장이 생산하는 호칭강도 21~30MPa의 배합설계표 분석결과 내구성 조건(물시멘트비 45% 이하, 공기량 $6.0 \pm 1.5\%$)을 만족하는 호칭강도는 30MPa (물-시멘트비 범위 : 38.7% ~ 43.8%, 평균 : 42.2%) 이상으로 분석되었다.

4) 레미콘 대표배합에 의한 내구성 실험연구결과 목표 공기량 6.5%, 물-시멘트비가 44.5% 이하(호칭강도 30MPa 이상)에서 콘크리트 표준시방서의 내동해성 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

5) 따라서 내구적인 수리구조물을 설계하기 위해서는 혼화재 종류에 관계없이 목표 공기량은 6.0% 이어야 하고, 운반 후 공기량은 $\pm 1.5\%$ 이내여야 하며, 물-시멘트비는 $\leq 45\%$ (호칭강도 30MPa 이상)여야 함을 알 수 있었다.

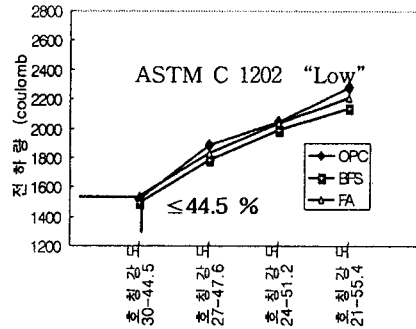


그림 3 물-시멘트비와 염소이온 투과 저항성

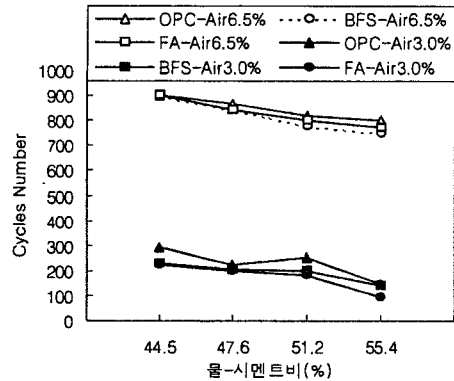


그림 4 Air, w/c비 별 동결융해 저항성

참고문헌

1. 박광수, "수리시설물 품질개선방안연구보고서", 농림부 농어촌연구원, 2003
2. Mirza, S. A. and etc., "Statistical Description of Strength of Concrete", ASCE, V105, No. ST6, pp 1021-1037, 1979