

凍害와 鹽害를 동시에 받는 콘크리트의 複合劣化에 관한 연구

A Study on the Combined Deterioration of Concrete subjected to Freezing-Thawing and Chloride Attack

김은겸* 최상덕**

Eun-Kyum Kim Sang-Deok Choi

ABSTRACT

This paper was accomplished for analyzing the reason of the above deterioration happened on the deck of concrete bridge. The bridge was constructed at 660m above the sea level having more freezing and snowing days. Therefore, it is placed on the particular condition sprinkling CaCl_2 enough for keeping up with moderate traffic condition. When it is considered to the former condition, the bridge can be assumed to potentialities for combined deterioration with freezing-thawing under sprinkling deicing chemical. Core specimens were gathered from the concrete deck for clearing the reason of the above deterioration exactly, and it is used for various tests for measuring the compressive strength, elastic modulus, content of Cl^- , freezing-thawing at the fresh and salt water. As a result of freezing-thawing test, the specimen at the fresh water has over 90% of durability factor, but another specimen at 1% of salt water has 0% of durability factor at 140 cycles of the freezing-thawing. The result means that frost damage is scelerated at the salt water. Therefore, the deterioration of the concrete deck is estimated to be occurred by combined effects of freezing-thawing and chloride ion attack.

1. 서론

콘크리트에 발생하는 열화는 일반적으로 여러 가지 원인에 의한 복합열화의 형태로 발생된다. 이러한 복합열화를 단독열화로 평가하는 것은 실제 열화현상을 반영하기에 부족할 것이다. 이러한 이유로 최근에는 여러 가지 열화발생인자들의 복합작용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 최근 동절기에 차량의 안전 주행을 위해 도로에 살포되는 염화칼슘, 염화나트륨 등 결빙방지제의 양이 현격히 증가하여 염해로 인한 내구성능 저하가 나타나고 있다. 그러나 국내에서는 동해 및 염해의 단독열화에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있으나, 동해와 염해를 동시에 받는 복합열화에 대해서는 연구가 미미한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 동해와 결빙방지제에 의한 염해의 복합열화를 받는 콘크리트구조물에 대하여 코어를 채취하여 독립적인 열화 상태를 평가하고, 동결융해시험을 실시함으로써 복합열화에 대한 콘크리트의 내구성을 고찰하고자 한다. 또한, 코어 시험체로부터 기포간격계수 등의 시험을 실시하여 단독열화인 동해저항성에 효과가 있는 AE 공기량이 복합열화의 경우에도 충분한가를 검토하고자 한다.

* 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 석사

2. 연구 내용

연구대상 구조물은 해발 660m에 위치하고 있으며, 동절기 강설일수가 최근 5년 평균 24.8일, 1일 최대 적설량은 325mm이며, 동결일수가 연중 104.4일인 적설한랭지로 판단된다. 이곳의 동절기 원활한 교통통행을 위하여 다량의 동결방지제를 살포하고 있으며, 여기에 포함되어 있는 염화물은 동해에 의한 콘크리트의 열화와 복합적으로 작용하여 복합열화를 일으키게 된다. 본 교량의 콘크리트 바닥판의 경우는 동절기 적설 한랭에 의한 동해에 부가하여 동결방지제의 살포에 의한 염해가 복합적으로 작용할 수 있는 환경 조건에 놓여 있다. 즉 동결방지제의 살포에 의해 염분이 농축되며, 이로 인해 다시 포수도의 상승으로 침투압이 발생하여 동해를 촉진시키게 되는 동해와 염해의 복합열화 발생 가능성이 매우 높다. 특히, 이와 같은 현상은 교량 바닥판의 배수가 원활하지 못할 경우 동해와 염해의 환경이 더욱 가혹한 상태로 되어 복합열화 현상은 더욱 가속화될 수 있다. 본 연구에서는 콘크리트 바닥판이 동해 및 염해 등에 의해 복합열화가 발생하였는지에 대하여 전반적인 내구성에 관련된 실험을 실시하였으며, 그 결과를 종합적으로 분석하여 콘크리트의 열화 원인을 규명하였다. 또한, 연구대상 교량의 열화원인 규명을 위해 손상이 경미한 인근 교량에 대해서도 동등한 조사 및 실험을 실시하여 비교 검토를 실시하였다.

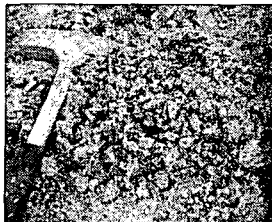
3. 열화 현상 및 평가 시험

3.1 열화 현상

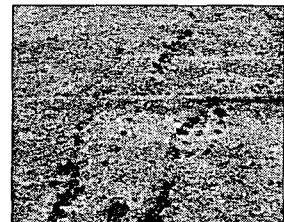
교량 바닥판의 열화 현상은 그림 1과 같으며, 열화양상은 콘크리트의 열화로 인하여 아스팔트 표면에 균열이 발생하거나 아스팔트의 솟음 현상이 나타나고 있다. 이러한 이유로 인하여 도로의 주행성에 상당한 문제를 나타내고 있다.



(a) 바닥판에 발생된 열화 상태



(b) 콘크리트에 발생된 스킨링



(c) 열화 발생으로 인한 철근 노출

그림 1 콘크리트 바닥판에 발생된 열화 현상

3.2 물리·화학적 시험 방법

물리·화학적 시험 방법으로는 압축강도 시험, 탄성계수 측정, 염화물 분석시험, 기포간극계수 측정 및 염수와 담수에서의 동결융해시험을 실시하였으며, 그 시험방법은 KS F 2405, KS F 2422, KS F 2713~2715, ASTM C457 및 KS F 2456에서 제시하고 있는 시험방법에 준하여 실시하였다.

4. 시험 결과

4.1 압축강도 시험 결과

압축강도 시험결과 열화가 진행된 시험체의 경우 22.6MPa~26.6MPa로 나타났다. 그러나 열화발생이 미비하거나 인근의 열화가 발생하지 않은 교량의 경우 30.9MPa~39.9MPa로서 설계기준강도 27MPa 이상을 나타내고 있어, 강도의 저하가 없는 것으로 나타났다.

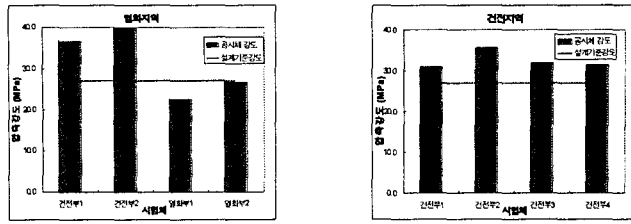
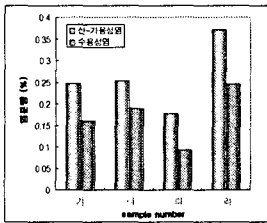


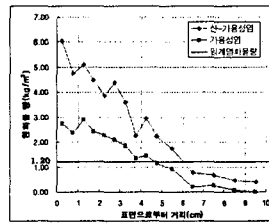
그림 2 압축강도 시험 결과

4.2 염화물 분석 시험 결과

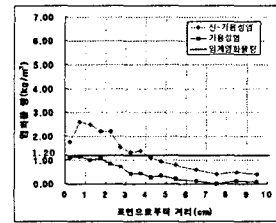
아스팔트 제거 후 콘크리트 표면에 발생한 scaling에 대한 시험 결과 수용성염이 2.0~5.5 kg/m³ 정도 검출되었다. 또한, 코어 시험체에 대한 염화물 분석 시험 결과 열화지역에서의 염화물이온은 깊이 60~70mm 정도까지 침투하였으며, 수용성염화물이 발칭한계치 1.2kg/m³을 초과하는 부위가 콘크리트표면에서 30~50mm까지로서 철근피복 50mm에 근접하고 있다.



(a)스켈링에 대한 시험 결과



(b) 열화부위에 대한 시험 결과
그림 3 염분침투 시험 결과



(c) 건전부위에 대한 시험 결과

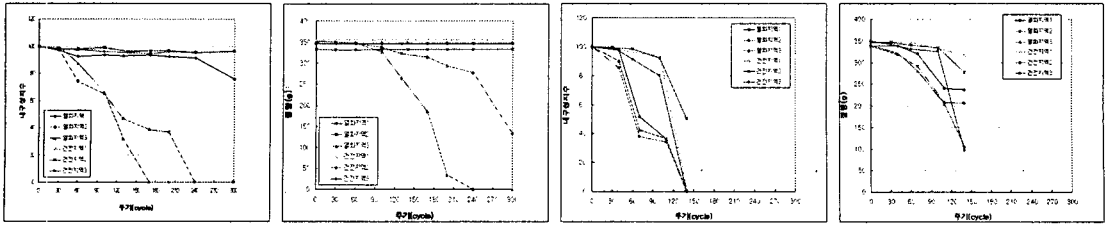
4.3 기포간격계수 측정 결과

시험 결과 건전부와 열화부에 대한 공기량 및 기포간격계수에 대한 현저한 차이는 없는 것으로 나타났다. 공기량 4.2~6.3%범위와 기포간격계수 275~421 μ m의 범위에 있는 것으로 측정되었다. 시공 당시의 콘크리트 배합표를 검토한 결과, 공기량은 4% 정도 연행되었으며, 한편, 동결융해에 대한 저항성이 탁월한 콘크리트를 제조하기 위해서는 일반적으로 기포간격계수는 200~250 μ m 이하이며, 양질의 AE제 또는 AE감수제를 사용한 콘크리트 기포의 체적 비표면적은 200~260cm²/cm³ 정도라고 보고되어 있다. 본 시험 결과, 모든 시험체의 기포간격계수가 250 μ m를 초과하고 있어, 공기량 4% 정도를 연행시키는 것으로서는 동결압을 완하시킬 수 있는 정도의 기포간격계수 확보가 미흡한 것으로 판단된다.

4.4 동결융해 시험 및 결과 분석

담수 환경에서의 시험 결과 열화지역에서 채취한 시험체 중 1개는 300 cycle에서 내구성지수가 80% 정도를 나타내었으나, 이 외의 시험체에서는 60 cycle 정도에서 내구성지수가 80% 이하로 감소하였다. 이와 같은 현상은 내구성지수 80%를 나타낸 시험체는 열화를 거의 받지 않은 건전한 시험인 반면, 60cycle에서 내구성 지수가 저하된 시험체는 열화가 진행되고 있는 부위에서 채취된 것이기 때문으로 판단된다. 건전한 교량에서 채취한 시험체의 경우, 모든 시험체는 건전한 상태이며 따라서 동결융해 300 cycle에서도 내구성지수는 거의 100%가까운 값을 유지하고 있다.

염수 1%에 대한 시험 결과 모든 시험체가 140 cycle에서 내구성지수가 0로 평가되었다.



(a) 담수 시험 결과

(b) 염수 시험 결과

그림 4 동결융해 시험 결과

5. 결론

본 논문에서는 동해와 염해를 동시에 받는 콘크리트 교량 바닥판에 대해 열화원인을 실험을 통해 분석하고 복합열화에 대한 가능성을 평가한 것으로서, 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 열화부 시험체의 염화물이온은 깊이 60~70mm 정도까지 침투하였으며, 수용성염분이 발칭한계치 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 을 초과하는 부위는 콘크리트표면에서 30~50mm까지로서 재령 5년의 단기간에 다량의 염분이 침투된 것으로 나타났다.
2. 담수 환경에서 동결융해시험을 실시한 결과, 건전부 시험체는 300 cycle에서 내구성지수가 80~100%를 나타내었으나, 열화부 시험체는 60 cycle 정도에서 내구성지수가 80% 이하로 감소하여, 담수환경에서의 동결융해저항성은 양호한 것으로 나타났다.
3. 염수환경에서 동결융해시험을 실시한 결과, 건전부 및 열화부 시험체 모두에서 60~90cycle 정도에서 내구성지수가 급격히 감소하여 공기량 4% 정도를 연행시키는 것으로서는 염해환경에서의 내동해성이 매우 미흡한 것으로 나타났다.
4. 이와 같이 동결기에 동결일수 및 적설량이 많은 동해 지역에 위치한 콘크리트 구조물의 경우, 동해에 의한 콘크리트 표면부의 scaling에 의한 철근피복 감소와 염화물이온의 농축에 의해 염해가 촉진되었으며, 농축된 염분의 침입은 침투압의 증가를 가져와 결국 동해를 촉진시켜 복합열화에 의해 콘크리트의 열화가 촉진된 것으로 판단된다.
5. 따라서, 동해와 염해에 의한 복합열화 가능성이 높은 지역에 교량을 가설할 경우, 교량 바닥판은 아스팔트포장의 방수층에 의해 체수가 발생하여 동해 및 염해의 가속화가 진행될 수 있으므로 직접 콘크리트포장을 설치하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. 竹田宣典, 十河茂辛 “凍害と鹽害の複合劣化作用がコンクリートの耐久性に及ぼす影響” 콘크리트 공학년次講演會, pp427~432, Vol. 23, No 2, 2001
2. 王欣, 鮎田耕一, 小野定 “海水と凍結融解との作用を受けモルタルの細孔構造の胞水度” 콘크리트 공학년次講演會, pp637~642, Vol. 23, No 2, 2001
3. 今井益陸, “ 콘크리트 구조물의凍害調査” 콘크리트 공학, Vol. 14, No. 11, 1976
4. 三浦 尚 “除雪濟による鐵筋コンクリートの構造物の劣化” 콘크리트 공학년次講演會, pp3~8, Vol. 38, No 6, 2000
5. “複合劣化콘크리트 구조물의評價と維持管理指針書” 콘크리트 공학회 2001
6. “콘크리트표준시방서 유지관리편(안)” (사) 한국콘크리트학회 2004.
7. “콘크리트진단 및 유지관리” (사) 한국콘크리트학회 2003.