

콘크리트 노화의 피해 사례와 대책

이 상 민

1. 서론	2
2. 콘크리트의 노화	2
2.1 개요	2
2.2 동결융해	3
2.3 동결방지제(재설제)	5
3. 콘크리트 내구성 저하에 따른 피해 사례	7
1) 피해 사례 2	7
2) 피해 사례 2	8
3) 피해 사례 3	9
4) 피해 사례 4	10
5) 피해 사례 5	11
6) 피해 사례 6	12
7) 피해 사례 7	13
4. 점검방법	14
4.1 일반	14
4.2 점검 종류별 주요 항목	15
5. 대책	19
5.1 일반	19
5.2 콘크리트 노화 대책공법의 실패 사례	20
5.3 콘크리트 노화 대책공법	22
6. 결론	22

1. 서론

내가 맨 처음 교량에 대해 정미라 안전지단이라는 것을 접하였을 때가 1990년. 벌써 만15년이라는 세월이 지났다. 진단을 시작할 때 국내에서 실시하였던 기존의 진단 사례가 없어 자료구하기도 어려웠을 뿐만 아니라 진단에 대한 체계가 전혀 없는 상태에서 보고서를 쓰면서 무척이나 고생하였던 기억이 아직도 생생하다.

15년 진단 경력동안 수십개의 교량을 개축 혹은 전면보수를 하자는 제안도 해보았고, 보수·보강해서 사용하자는 제안도 하여 보았다. 그중에서 전면보수 및 개축을 제안하였던 시설물의 상태를 회상하여 보면 90년대에는 내하력이 부족하여 보강보다는 개축을 하자는 제안을 많이 하였으며, 2000년 이후로는 내하력 보다는 내구성의 저하로 인해 전면 보수 혹은 개축을 제안하였다.

여기에서는 향후 진단 및 점검을 실시할 때 조금이나마 보탬이 되도록 하기 위하여 내구성 저하에 의해 구조물의 안전성을 위협하였던 사례들 중 콘크리트 단면감소에 의한 사례들을 위주로 정리하고 이에 대한 조사방향 및 대책에 대해서도 정리를 하여 보고자 한다.

2. 콘크리트의 노화

2.1 개요

콘크리트 구조물의 내구성 저하에 따른 현상은 크게 철근의 부식에 관련된 현상과 콘크리트 강도 및 단면감소에 관련된 현상으로 구분할 수 있다. 철근부식에 관련된 현상은 염화물과 같이 철근부식에 직접 관여하는 현상과 중성화와 같이 철근 부식을 방지하는 기능의 약화로 인해 철근이 부식환경에 노출되는 현상으로 분류할 수 있다. 콘크리트의 강도저하 현상은 종국적으로는 콘크리트 단면감소를 유발하는 현상으로 이어진다. 일반적으로 콘크리트의 강도저하는 콘크리트 내부에 미세균열이 진전되어 발생하는 것으로 동결융해 등과 같은 자연적인 영향과 제설재의 사용에 의한 인위적인 영향을 들수 있다. 그러나 콘크리트 내부에 미세균열의 진전이 가속화되면서 단면감소 및 콘크리트 구체의 파괴를 유발하여 종국적으로 구조물의 안전에 심각한 영향을 미치게 된다.

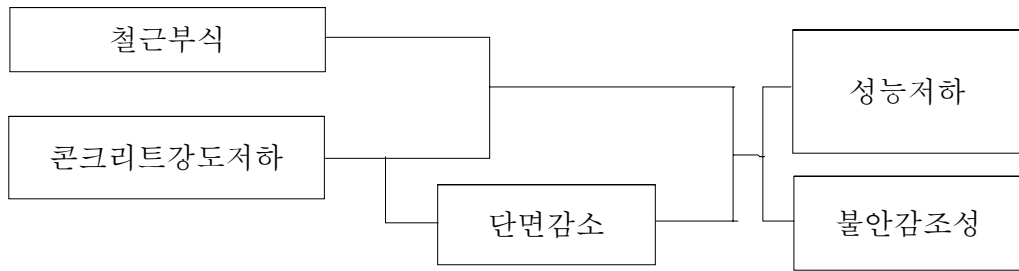


그림 2.1 내구성 저하현상과 그 피해

지금까지 콘크리트 구조물의 성능저하 현상에 대해 철근부식에 관한 많은 자료가 있었지만 콘크리트 강도저하 및 단면감소에 의한 피해 사례가 알려진 것이 별로 없고 이에 대한 자료가 많지 않은 실정이다. 따라서 여기에서는 공용중인 교량에서 콘크리트 강도 및 단면감소를 유발하는 대표적인 인자로서 동결융해 현상과 재설제의 의한 이론적인 영향을 추적하여 본다.

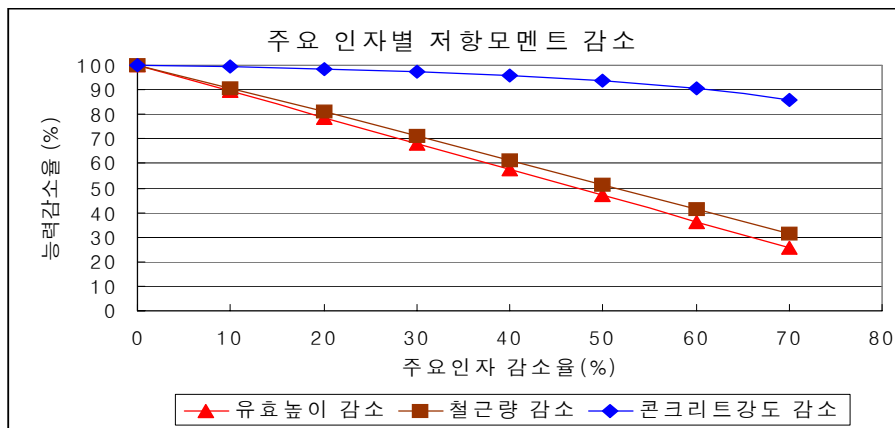


그림 2.2 내구성 저하현상에 따른 철근콘크리트 부재의 능력저하 현상

2.2 동결융해

겨울철 추운 날씨 속에 물이 흠뻑 젖어 있는 콘크리트가 얼었다 녹았다 하는 작용을 반복해서 받게 되면(동결융해작용) 콘크리트는 그 성능이 크게 저하되어 피해를 입을 수 있다. 이와 같은 피해를 동해라 한다.

1) 팽창성 동해

일반적으로 콘크리트 구조물에 가장 많이 보이는 동해는 팽창성 동해이다. 팽창성 동해열화의 기본은 콘크리트 중의 수분동결에 따른 9% 체적팽창이 경화시멘트 페스트 조직을 팽창시킴으로서 발생하는 것이다. 콘크리트가 팽창하려고 할 때

미세한 균열이 콘크리트 표면에 존재할 경우 동결융해 작용이 반복되면 이로 인한 팽창력이 인장력으로 작용하여 균열이 확대되는데 표면균열의 균열은 내부가 이러한 팽창이 어느 한계를 넘게 되면 그 콘크리트는 붕괴에 이르게 된다.

2) 팝아웃(Pop Out)

겨울 콘크리트가 다공질의 흡수율이 높은 골재를 함유하고 있을 경우 골재중의 수분이 동결함에 따라 팽창하여 표면 모르타르를 박리시킴으로서 팝아웃이 발생된다. 즉 콘크리트 표면 부근의 골재에 균열이 형성되면 시간이 지남에 따라 이 균열은 표면을 따라 수평으로 진행되는데 골재를 둘러싸고 있는 모르타르 표면은 인장력이 약하기 때문에 원추형 조각형태로 콘크리트 표면으로부터 떨어져 나가게 된다. 이를 팝아웃이라 한다. 이러한 팝아웃은 일반적인 동해환경하에서 흡수율이 큰 골재를 사용할 때 발생하는 보통의 팝아웃과 염분환경하에서 동결융해 작용과 염분의 복합적인 작용에 의해 발생하는 팝아웃으로 나눌 수 있다. 일반적인 팝아웃에서는 다공질의 굵은골재로 흡수율이 매우 높아 굵은골재 자체도 동해의 손상을 받는 것에 비해 염분환경하에서의 팝아웃은 견고한 굵은골재의 표면층이 박리되고 굵은골재는 건전한 상태로 남아 있는 것이 일반적이다.

3) 표면층 박리(Scaling)

스케일링은 동해 중 가장 빈번하게 관찰되는 것으로서 수밀리미터 정도의 두께로 콘크리트, 시멘트 모르타르나 페스트가 작은 조각상으로 떨어져 나가는 것이다. 보통 토목구조물에서는 수로, 건물의 옥상 등 물에 자주 접하는 콘크리트에 표면층의 열화가 발생된다. 이러한 스케일링에 의한 동해를 일으키는 요인으로는 다음과 같은 3가지가 알려지고 있다.

① 물-시멘트비가 큰 콘크리트가 동결융해 작용을 받음으로서 발생하는 일반적인 스케일링

- 초기단계에서는 잔골재가 씻겨나가는 상태이지만 이것이 부분적으로 깊게 진행될 경우에는 미관 또는 용도의 문제를 일으킨다.

② 해수 등에 포함된 염류와 동결융해 작용의 복합으로 발생하는 스케일링

- 동결융해 작용에 해수가 첨가되어 작용한 것으로 이와 유사한 사례의 피해가 제설을 위한 염화칼슘 등 염류가 뿌려지는 곳에서도 나타나고 있다.

③ 브리딩수가 치밀한 마감 표면층 밑에 모여짐으로써 이부분에서 박리가 발생하는 시공부실에 의한 스케일링

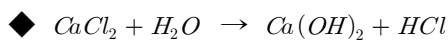
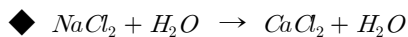
- 콘크리트 타설 직후 골재나 시멘트 입자가 침하하고 블리이딩수가 떠오르는 단계가 있다. 이때 표면이 급속히 건조되면 수분의 증발에 의해 표층은 치밀한 층이 형성된다. 하지만 이 단계에서도 블리이딩수는 하층으로부터 지속적으로 상승하여 치밀한 표면층 바로 아래 취약한 조직을 가진 층이 형성된다. 이 때문에 동결융해를 받는 상황에서는 이 취약층이 손상을 받아 상부의 치밀한 층을 박리시킨다.

2.3 동결방지제(제설제)

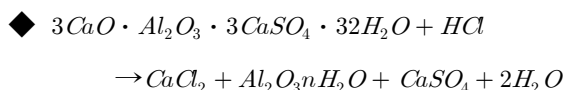
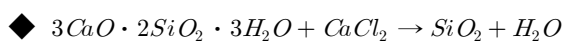
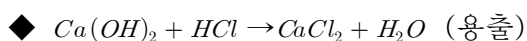
염화물을 주성분으로 하는 동결방지제(주로 염화나트륨 및 염화칼슘)은 콘크리트 구조물에 여러 가지 노화를 일으키는 것으로 알려져 있다. 염화물에 의한 콘크리트의 노화작용은 일반적으로 오랜 기간에 걸쳐서 염화물의 혼합, 침투에 의하여 콘크리트 중에 염화물이 어느 한도량을 넘었을 때 발생하는 것으로 노화현상이 발생되었을 때에는 이미 콘크리트 속에는 상당히 많은 염화물이 축적되어 돌이킬 수 없는 상태로 되어있는 경우가 많다. 동결융해방지제 사용에 따른 콘크리트의 노화종류는 주로 화학적 부식, 중성화, 콘크리트의 동결융해 및 시멘트 알카리 골재 반응이며 이것이 단독적 또는 복합적으로 이루어지는 것으로 알려져 있다.

포틀랜드시멘트계 콘크리트 중에서 결합재로서 역할을 하고 있는 것은 주로 Calcium Silicate수화물과 수산화칼슘이며 이외 Calcium Aluminate수화물과 Calcium Aluminate Ferrite수화물인 것은 잘 알려져 있다.

포틀랜드시멘트 수화생성물은 어느 것도 산과 반응하여 분해하게 된다. 시멘트 수화물중 가장 산과반응하기 쉬운 것은 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)이며 다음이 Calcium Aluminate수화물이고 Calcium Silicate수화물, Calcium Aluminate Ferrite수화물 순이다. 제설재로서 염화칼슘($CaCl_2$)과 염화나트륨($NaCl$)을 사용할 때 시멘트 수화생성물과의 반응을 보면 산과 알카리로 전이된다.

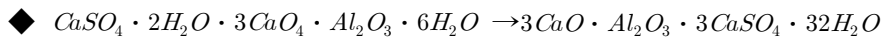


이때 생성된 산으로서 HCl 이 콘크리트 중의 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)과 작용하면 다음과 같이 된다.



이와 같은 반응에 의하여 시멘트수화물은 분해되어 결합능력을 잃는다. 반응에서 생성된 CaCl_2 는 물에 쉽게 녹기 때문에 용이하게 용출하고 SiO_2 나 Al_2O_3 는 겔상으로 되어 또한 용액중에 침출한다.

또 염화칼슘이나 염화나트륨을 뿌려 산의 농도가 높아져 생긴 석고 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)는 물에 대한 용해도가 비교적 낮음으로 다시 시멘트 중의 Calcium Aluminate($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)수화물과 반응하여 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (Ettringite)로 변하면서 큰 팽창압이 생겨 콘크리트에 균열손상, 심하면 붕괴를 가져온다. 이 반응에서 생성된 Ettringite는 시멘트파티루스라고도 불리운다.



황산염이 있는 경우에는 Calcium Aluminate와 직접 반응하여 Ettringite를 생성한다.

즉 제설제 등에 따른 콘크리트 노화는 염소이온이나 황산이온에 의한 것이며 염소이온은 시멘트 경화체 중에서 확산하기 쉽고 깊이까지 침투하며 침투한 염소이온이 수산화칼슘과 반응하여 Fridel氏鹽으로 고정되고 일부는 수용성 염소로서 용존하여 수화성경화체를 다공질화 시키고 압축강도를 저하, 내구성을 해친다.

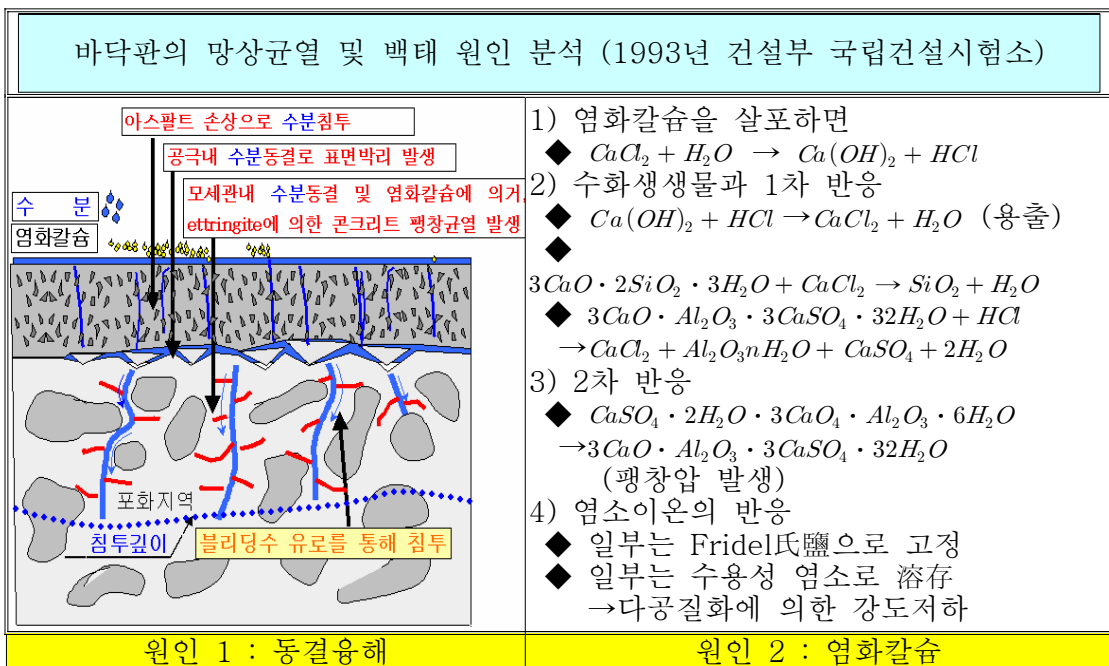


그림 2.3 콘크리트 침식의 원인

3. 콘크리트 내구성 저하에 따른 피해 사례

콘크리트 구조물의 내구성 저하에 따른 피해는 철근 부식과 콘크리트 단면감소로 크게 구분된다. 내구성 저하에 따른 철근 부식 현상은 많은 사례들이 제시되었으나 콘크리트 단면감소에 대한 사례는 소개된 사례가 거의 없는 상태이므로 여기에서는 콘크리트의 단면이 감소되었던 사례만을 제시하고자 한다.

1) 피해 사례 2

1) 외관조사 결과	
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 현상 1 : 바닥판 하면에 망상균열과 망상균열부를 통한 백태가 심하게 발생되었으며 아스팔트는 전반적으로 망상균열이 발생한 상태 ▶ 현상 2 : 바닥판 하면에 4~5개의 선형균열이 발생되어 있고 균열을 통해 백태가 발생되고 있는 상태이었고 아스팔트는 국부적으로 함몰이 발생한 상태 	
2) 아스팔트 제거 후 바닥판 상태 조사	
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 현상 1 : 전체 면적에 걸쳐 상면은 뾰족한 망치를 이용하여 타격을 한 결과 10cm깊이까지 쉽게 파취되는 상태이었음. ▶ 현상 2: 국부적인 면적에 걸쳐 뾰족한 망치를 이용하여 타격을 한 결과 15cm깊이까지 쉽게 파취되는 상태이었음 	
현상 1 : 망상균열 및 백태	현상 2 : 다수 선형균열 및 백태
	
현상1: 정밀조사 전면적으로 들뜸 발생	현상2: 정밀 조사 국부적으로 들뜸 발생
	

2) 피해 사례 2

1) 외관조사 결과

- ▶ 연석주변의 아스팔트에 대해 해머에 의한 타격조사를 실시한 결과 들뜸이 발생되어 있음
- ▶ 바닥판 하면은 전반적으로 백태가 발생된 상태이었음

2) 아스팔트 제거 후 조사

- ▶ 아스팔트를 제거한 후 바닥판의 상태를 조사한 결과 상면에서 평균 5cm깊이 까지 쉽게 파취됨
- ▶ 양호한 콘크리트가 나올때 까지 파취를 한 결과 대부분 주철근 하면까지 파취되었음

들뜸 아스팔트 제거 후 콘크리트 표면상태



들뜸부 제거 후 철근노출 상태



3) 피해 사례 3

1) 외관조사 결과

- ▶ 아스팔트에 박리가 심하게 발생한 상태
- ▶ 비가 온 후에는 아스팔트의 균열부를 통해 니토가 스며나오는 상태

2) 아스팔트 제거 후 조사

- ▶ 아스팔트를 국부적으로 제거한 후 바닥판의 상태를 조사한 결과 상면에서 평균 5cm깊이까지 쉽게 파취됨
- ▶ 상부철근은 부식으로 인한 단면감소가 발생한 상태

아스팔트의 손상 상태



콘크리트의 열화 및 철근부식



4) 피해 사례 4

1) 외관조사 결과

- ▶ 아스팔트에 박리가 심하게 발생한 상태
- ▶ 바닥판 하면은 전체면적에 걸쳐 망상형 균열이 발생한 상태

2) 코어채취 조사

- ▶ 대표 위치 6개소에 대해 코어를 채취한 결과 3개는 코어가 형성되지 않았으며 3개 코어는 부분적인 파쇄상태이었고 코어가 형성된 부분도 쉽게 파쇄되는 상태

아스팔트의 상태	바닥판 하면 상태
	
코어채취 상태	콘크리트 제거 후 철근 상태
	

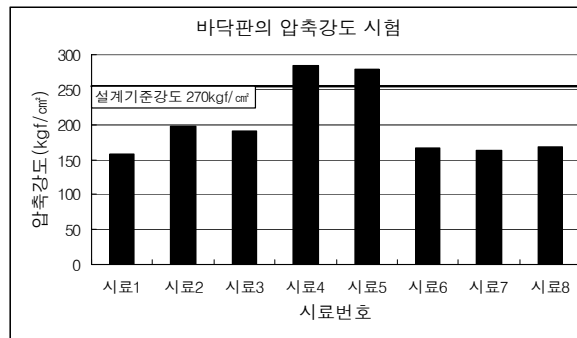
5) 피해 사례 5

1) 외관조사 결과

- ▶ 아스팔트에 박리가 발생된 상태이었음
- ▶ 바닥판 하면은 망상형 균열이 발생되었고 균열에는 백태가 발생된 상태

2) 코어채취 조사

- ▶ 두께 1/2부분은 파쇄된 상태이었고
- ▶ 코어가 형성된 상단부는 층상균열이 발생되어 있었으며 층상균열이 발생된 부분을 해머로 타격한 결과 약 1cm두께로 분리됨
- ▶ 백태가 발생되지 않은 부분에서 코어를 채취하여 압축강도시험을 실시한 결과 총 8개의 코어중에서 2개의 시료만이 설계기준강도를 초과하고 있을 뿐 나머지 6개의 코어는 설계기준강도의 60~70%의 강도로 조사됨.



백태가 발생되지 않은 바닥판의 코어강도시험 결과

6) 피해 사례 6

1) 외관조사 결과

- ▶ 아스팔트에 박리가 발생된 상태이었음
- ▶ 바닥판 하면은 망상형 균열이 발생되었고 균열에는 백태가 심화된 상태

2) 코어채취 조사

- ▶ 상단부 3cm부분은 코어가 형성되었으나 그 이하 부분은 코어가 형성되지 않음

격자형 균열과 백태가 심화된 상태



코어가 형성되지 않은 상태



7) 피해 사례 7

<p>1) 외관조사 결과</p> <p>아스팔트는 시공되어 있지 않음</p> <p>바닥판 상면에서 블록면적에 대해 국부적인 함몰, 부분적으로 완전 파쇄, 전트체 면적의 파쇄가 발생한 상태임. 바닥판 하면은 피복두께가 탈락되어 철근의 겹이음 부의 이탈의 발생됨</p>	
<p>편칭파괴가 발생하는 초기 단계</p>	<p>편칭파괴가 발생하는 중기단계</p>
	
<p>편칭파괴가 발생한 상태</p>	<p>편칭파괴가 발생한 하면의 상태</p>
	

4. 점검방법

4.1 일반

동결융해 및 세설제에 의한 콘크리트 노화는 사용환경 화학물질의 종류 및 농도에 따라 다른 양상을 나타낸다. 일반적으로 외부환경 및 침투물질에 의한 노화의 경우 콘크리트 표면으로부터 진행되며 노화초기부터 콘크리트 외관에 현저한 노화의 징후가 보여지는 경우와 어느 정도 노화가 진행 된 후 노화의 징후가 보이는 경우가 있다.

표 4.1 노화현상의 특징

외관상 나타나는 노화 특징	외관상 판단되지 않은 노화 특징
<ul style="list-style-type: none"> - 골재의 노출 - 표면박리 - 골재의 탈락 - 분상화(粉狀化) - Pop out - 액상겔의 浸出(백태 발생) - 팽윤(膨潤) - 균열 발생 - 結晶析出 - 콘크리트 패임 	<ul style="list-style-type: none"> - 기계적 강도의 저하 - 탄성계수의 저하 - 팽창수축 - 중성화 - 철근부식 - 氣孔의 증대

콘크리트가 화학적 침식에 의한 노화를 받았을 때 노화의 원인이 무엇이며 노화가 어느정도 진행되었는지는 보수의 판단, 보수나 개수의 방법선정 등에 불가피하다. 콘크리트 노화 특징을 알게되는 시기는 보통 콘크리트 외관에 백태발생, 골재 노출, 모르타의 박리, 부풀음(Pop out), 균열 등의 현상이 보이면서 부터이다. 콘크리트 외관에 나타난 징후로부터 노화원인, 노화정도를 어느 정도 판단하는 것은 가능한 경우도 있으나 대부분 곤란하다.

노화가 진행되고 있는 구조물에서 분명히 할 필요가 있는 것은 피복콘크리트에서의 염소이온 농도 및 철근의 부식상태이다. 또한 성능저하가 상당히 진행되는 경우에는 구조물의 성능을 직접 평가할 수 있는 점검을 실시할 필요가 있다. 점검항목은 성능저하정도에 따라 달라지고, 잠복기에 있는 것으로 추정된 경우에는 주로 외관위주의 점검을, 진전기 이후에 있는 것으로 추정되는 경우에는 코어 등과 같은 직접조사에 의한 점검을 실시할 필요가 있다.

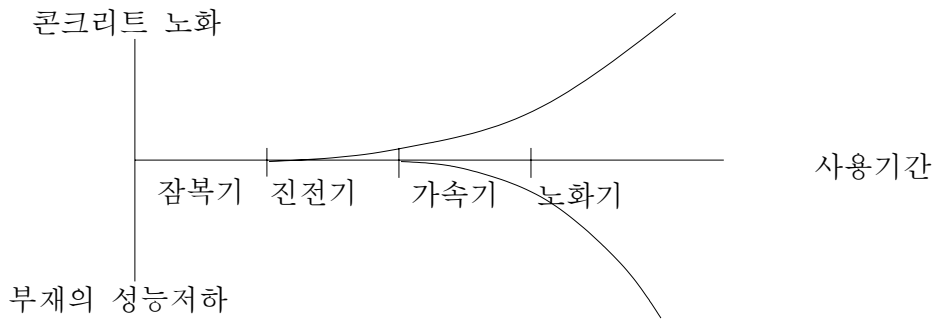


그림 4.1 노화진행과정과 부재의 성능저하

표 4.2 노화 단계별 주요 점검 항목

성능저하 과정	외관변 화상태	염소이 온농도	탄산화 깊이	철근 부식	콘크리트 코어강도	내하력	철근 위치	성능저 하외력
잠복기	◎	◎	◎	○	△	△	◎	◎
진전기	◎	◎	◎	◎	△	△	○	○
가속기	◎	◎	○	◎	○	○	△	△
성능저하기	◎	○	△	◎	◎	○	△	△

◎ : 반드시 실시하여야 하는 항목

○ : 실시가 요구되는 항목

△ : 필요에 따라 실시하는 항목

4.2 점검 종류별 주요 항목

(1) 초기점검

초기점검에는 신설구조물의 사용개시 전만이 아니라 기존구조물이나 성능저하 대책을 실시한 후의 구조물에 대한 최초의 점검도 포함된다. 어느 시점에서 초기점검이 실시되어지는가에 따라서 점검의 주안점이 다른 것은 당연하다. 구조물에 대한 초기점검에서 특히 중요한 항목은 다음과 같다.

- 물-결합재비 - 시멘트의 종류 - 피복두께 - 환경조건 - 초기결함
- 혼화재의 사용유무, 종류 및 량 - 초기함유 염소이온의 농도

(2) 정기점검

정기점검은 구조물의 상태변화를 경시적으로 파악하고 조기에 성능저하의 진행을 발견하는 것을 목적으로 한다. 또한 언제 성능저하가 시작되었는가의 판단이 가능해진다면 그 후의 성능저하예측에 유익한 정보가 된다. 특히 성능저하의 징후가 인정된 부분에 대해서는 중점적으로 점검을 실시하여 수집된 정보를 기반으로 정밀점검이나 정밀안전진단시 정밀조사가 이루어 지도록 하여야 한다. 이 때문에 성능저하현상 또는 그 징후인 균열, 박리·박락, 녹물, 유리석회, 변색 등의 콘크리트의 표면 변화상태이외에 누수, 변위·변형에 대해서 정보를 수집하여 축적할 필요가 있다.

또한 교량구조물에서 바닥판의 하면에서 노화현상의 징후가 목격되면 바닥판 상면의 노화는 상당히 진전되었다고 평가되나 아스팔트를 제거하지 않은 상태에서는 상면의 상태를 파악할 수 없는 실정이므로 정밀점검시나 정밀안전진단시 간과되는 경우가 자주 발생된다. 따라서 콘크리트가 노화되는 현상이 나타나는 경우 아스팔트를 절삭하고 재포설할 때에는 반드시 타격법에 의하여 콘크리트 상면의 노화상태를 파악하여 대책을 강구하는 기법을 발휘하여야 할 것이다.

(3) 정밀점검

그림 4.2는 3년의 시간차가 있는 바닥판의 점검결과의 야장을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 3년 기간동안에 치환보수를 실시한 곳이 1개소 추가되었으며 백태현상이 전혀 나타나지 않았던 부분에서 백태가 심화되어 있는 것을 볼 수 있다. 또한 기존에 치환보수를 실시하였던 부분에서 조차도 횡방향 균열이 발생하여 균열부를 통해 누수가 발생되고 있는 현상이 조사되었다. 즉 3년이라는 기간 동안 바닥판의 노화가 급격히 발생되고 있음을 알 수 있다. 따라서 정밀점검시에는 직전의 점검 야장과 금차 점검결과를 비교하여 노화진전여부를 확인하는 과정이 반드시 필요하다.

또한 단지 육안조사에 의한 점검만 실시된다면 노화현상의 징후만을 점검하는 결과를 초래하게 된다. 따라서 노화현상이 조사된 부분에 대해서는 상면과 하면에서 노화의 상태를 판단하기위한 직접조사가 필요하다. 그림 4,3과 같이 백태의 발생 농도가 심화되었을 뿐만 아니라 백태면적이 급격히 증가하였지만 코어가 형성되지 않을 정도로 노화되지 않은 상태에서는 하면에서 타격법에 의한 조사만으로는 콘크리트의 노화상태를 파악할 수 없다. 따라서 하면에서 노화현상의 징후가 뚜렷하거나 노화현상이 심화된 경우에는 아스팔트의 손상 및 들뜸과 연계하여 조사를 실시하고 필요한 경우 아스팔트를 일부 제거하여 콘크리트 상면의 상태를 파악

할 필요가 있다.

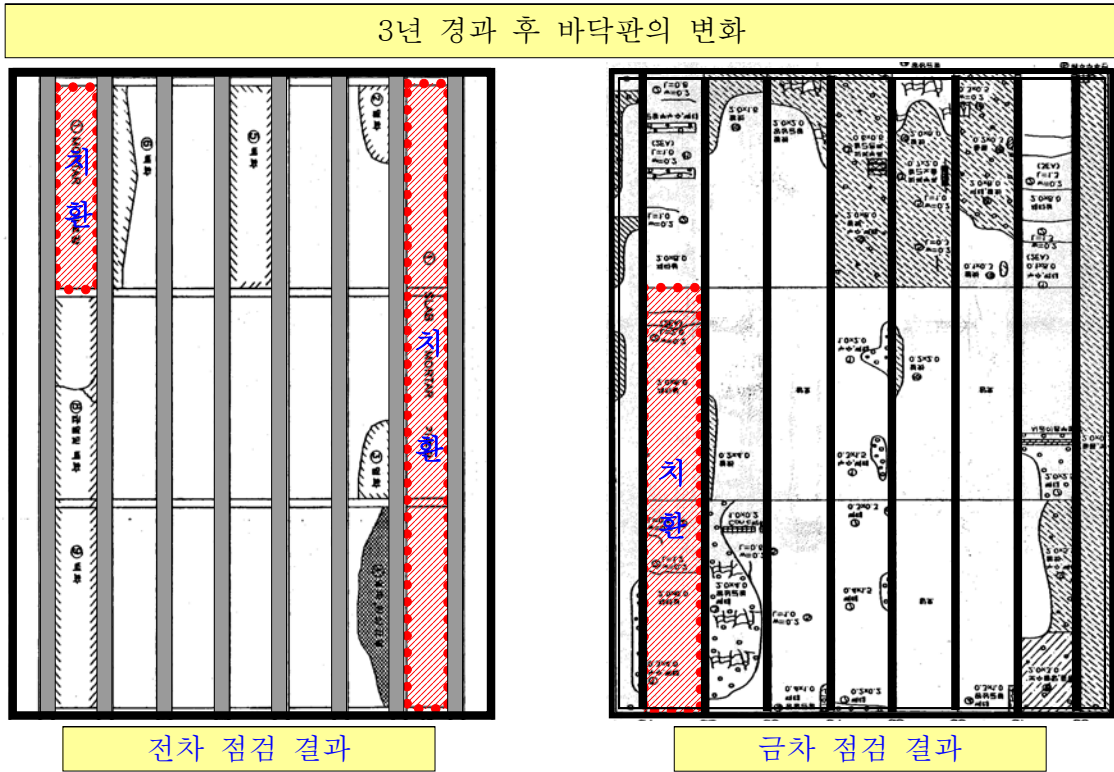


그림 4.2 전차 점검결과와 금차 점검결과와의 비교

표4.3 정밀점검시 중점 조사 항목

조사 부재	조사항목	콘크리트 노화 발생 의심 현상	정밀조사 방법
아스팔트	- 들뜸	- 아스팔트를 재포설한지 1~2년 이내에 들뜸이 발생 - 십수년 동안 재포설을 하지 않은 경우	- 타격법에 의한 청음조사 - 노화 발생이 의심되면 코어 채취 혹은 절삭에 의해 콘크리트 상태를 조사
	- 균열	- 균열부 주변의 습윤상태의 지속 - 균열부를 통한 니토의 침출	
콘크리트	- 균열과 백태가 동시에 발생 여부	- 백태의 농도변화 - 백태 발생 면적의 증대	- 균열종류와 백태발생 상태 - 타격법에 의한 청음조사 - 코어채취에 의한 상태조사 - 코어강도에 의한 성능저하 상태 조사

(4) 정밀안전진단

① 코어채취

콘크리트 구조물에서 코어를 채취하여 성능조사를 하는 경우 콘크리트 내부의 상태를 파악할 수 있는 이점이 있음에도 불구하고 대부분 강도조사만을 목적으로 코어를 채취하고 있는 실정이다. 특히 노후교량인 경우 콘크리트의 외관상태만으로는 콘크리트의 상태를 정확히 평가하는 것은 불가능에 가까운 실정이다.

앞에서 언급하였던 바와 같이 약 3년 사이에 백태의 발생면적이 급진전되는 현상은 콘크리트의 노화가 심화되었기 때문이나 육안점검이나 비파괴시험방법으로 콘크리트 노화상태를 파악할 수 없으므로 반드시 코어를 채취하여 콘크리트 내부상태 확인 및 역학적 특성의 변화를 파악하여야 한다.

② 염소이온 농도

콘크리트 노화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 제설재와 동결융해 현상이다. 따라서 콘크리트내로 염화물량의 침투현황의 파악은 매우 중요하다. 따라서 채취한 코어를 표면으로부터 깊이방향으로 분할하여 소정의 깊이에서의 염화물량을 측정하여야 한다. 그림 4.3은 도심지내에 위치하고 있는 노후교량에서 슬래브 상면으로부터 매1cm깊이 마다 염화물량을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 슬래브 상면의 염화물량이 많은 이유는 동절기에 사용된 제설제가 함유된 물이 슬래브내로 침투되었기 때문으로 판단된다. 따라서 노후교량의 슬래브에서 콘크리트의 염화물 함유량을 조사하는 경우 슬래브콘크리트의 하면보다는 상면에 더 주의 깊은 조사가 요구된다.

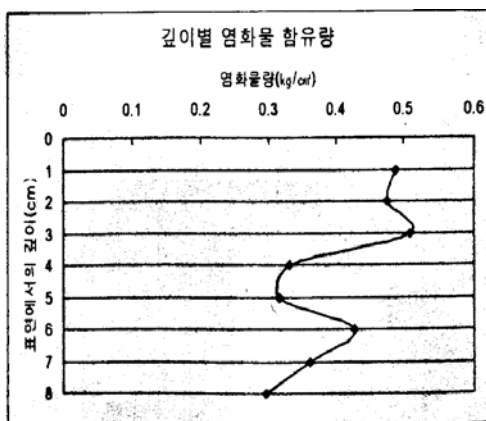


그림 4.3 깊이별 염화물 함유량 조사 예

표4.4 정밀안전진단시 중점 조사 항목

조사 부재	조사항목	콘크리트 노화 발생 의심 현상	정밀조사 방법
아스팔트	-뜯뜸	-아스팔트를 재포설한지 1~2년 이내에 뜯뜸이 발생 -십수년 동안 재포설을 하지 않은 경우	-타격법에 의한 청음조사 -노화 발생이 의심되면 코어 채취 혹은 절삭에 의해 콘크리트 상태를 조사
	-균열	-균열부 주변의 습윤상태의 지속 -균열부를 통한 니토의 침출	
콘크리트	-균열과 백태가 동시 발생 여부	-백태의 농도변화 -백태 발생 면적의 증대	-균열종류와 백태발생 상태 -타격법에 의한 청음조사 -코어채취에 의한 콘크리트 내부 상태조사 -코어강도에 의한 역학적 특성의 상태 조사
	-처짐, 변형	-처짐이 과다발생 -대변형 발생	-재하시험에 의한 처짐이 계산값에 비해 과다여부를 평가
	염화물량조사	-표층염화물량 과다	-깊이별로 염화물량 농도조사를 실시하여 표층과 내부의염화물량 비교
	중성화	-중성화 진전깊이 과다	-이론적 중성화깊이와 실측값을 비교
	철근부식	-녹물 유출	-자연전위법 혹은 쪼아내기 에 의한 직접조사

5. 대책

5.1 일반

구조물의 성능저하로 대책이 필요하다고 판정되는 경우에는 요구성능을 만족할 수 있도록 대책을 선정하여야 한다. 성능조사에 기초한 대책의 선정이 어려운 경우에는 구조물의 외관상 등급을 기준으로 대책을 선정하여야 한다. 주요대책으로는 ①점검강화, ②보수, ③보강, ④미관보수, ⑤ 사용성 회복, ⑥ 기능성 향상, ⑦사용제한, ⑧해체·철거 중에서 적당한 대책을 선정할 필요가 있다.

대책은 구조물의 종류나 중요도, 성능저하의 진행속도, 유지관리구분에 따라 다르나 다음 표와 같이 대책을 수립할 수 있다.

표5.1 노화과정별 주요 대책

외관상 등급	점검 강화	보수	보강	미관 보수	사용성 회복	기능성 회복	사용 제한	해체· 철거
상태 I-1(잠복기)	○			○				
상태 I-2(진전기)	○	○		◎				
상태 II-1(가속기 전기)	◎	◎		◎	○			
상태 II-2(가속기 후기)	◎	◎	◎		◎	○	○	
상태 III(성능저하기)			◎		◎	◎	◎	◎

◎ : 표준적인 대책 ○ : 경우에 따라서 고려할 수 있는 대책

5.2 콘크리트 노화 대책공법의 실패 사례

콘크리트 노화가 육안으로 명확히 확인되는 것은 하면에 발생하는 백태이다. 즉 콘크리트 하면에 백태가 발생되었다는 것은 콘크리트 구체를 통해 유입되고 있다고 할 수 있다. 백태가 발생되었거나 콘크리트 노화가 확인한 조건에서 실시하였던 각종 대책 중에서 실패하였던 사례를 고찰하여 본다.

콘크리트 하면에 백태가 발생하는 경우 미관 및 사용성회복만을 위한 보수를 실시하는 가장 일반적인 방법은 표면처리공법이라 할 수 있다. 과거 시행하였던 표면처리공법으로 폴리머 모르타르에 코팅, FRP섬유 부착, 강관접착공법 등이 적용되었다. 그러나 콘크리트 구체를 통해 유입되는 누수를 차단하지 않은 채 표면처리공법을 적용함으로 인하여 콘크리트 노화에 대해 더 이상 점검을 할 수 없는 상황이 되었을 뿐만 아니라 어떤 경우에는 편칭파괴가 발생한 후에야 그 심각성이 노출되는 경우가 자주 조사되었다. 또한 콘크리트 노후화 되어 치환공법을 적용하였으나 치환범위가 적정하지 못하여 주변에서 편칭파괴가 발생하는 경우도 조사되었다.

<p>백태발생부에 모르타르 부착 들뜸 및 탈락, 바닥판 편칭파괴 발생</p>	<p>백태발생부에 모르타르 부착 전반적으로 들뜸이 발생</p>
	
<p>백태발생부에 철판부착 부착 누수로 인해 철판 들뜸 및 부식</p>	<p>백태발생부에 FRP 부착 FRP 탈락</p>
	
<p>백태발생부에 FRP 부착 FRP 들뜸, 철근부식</p>	<p>치환보수 면적 부족 주변 슬래브의 편칭파괴 발생</p>
	

사진 5.1 콘크리트 노화에 대한 보수·보강공법의 실패 사례

5.3 콘크리트 노화 대책공법

콘크리트 노화가 육안으로 명확히 확인되는 것은 하면에 발생하는 백태이며, 백태의 발생원인은 대부분 콘크리트 구체를 통해 물이 유출되면서 발생된다. 따라서 콘크리트 노화의 징후가 나타나는 경우 단지 백태를 제거하는 미관적인 대책보다는 우선적으로 물의 유입을 차단할 수 있는 대책이 시행되어야 한다.

즉 잠복기 단계에서 교면방수를 실시하면 콘크리트의 노화가 발생하는 것을 근본적으로 지연 시킬 수 있으나 이미 진전기로 접어 든 상태에서 교면방수 및 아스팔트 재포설을 한다면 교면방수 및 아스팔트의 내구수명이 짧아지는 결과를 초래하고 콘크리트의 내구수명도 잠복기에서 실시한 효과는 기대하기 어렵게 된다. 실제로 아스팔트 포설 후 1년 정도에서 아스팔트가 들뜸이 발생되고 2년 정도부터 균열 혹은 포트홀이 발생하여 부분적인 보수를 실시하여야 하는 경우도 있다.

따라서 콘크리트 하면에서 노화현상의 징후가 뚜렷하거나 노화현상이 심화된 경우에는 아스팔트의 손상 및 들뜸과 연계하여 조사를 실시하고 필요한 경우 아스팔트를 일부 제거하여 콘크리트 상면의 상태 및 교면방수를 파악하여 교면방수를 포함한 대책을 강구하여야 할 것이다.

표5.2 구조물의 외관상 성능저하와 등급과 표준적인 공법

외관상 등급	표준적인 공법
상태 I-1(잠복기)	표면처리, 아스팔트 보수, 방수
상태 I-2(진전기)	표면처리+ 방수, 아스팔트 재포설
상태 II-1(가속기 전기)	표면처리+ 방수, 아스팔트 재포설
상태 II-2(가속기 후기)	부분 두께 치환+ 보강+ 방수, 아스팔트 재포설
상태 III(성능저하기)	전면 두께 치환+ 보강+ 방수, 아스팔트 재포설

6. 결론

콘크리트의 노화작용은 일반적으로 오랜 기간에 걸쳐서 염화물의 혼합, 침투 및 동경융해에 발생되며 일정기간동안 외관상으로 나타나지 않다가 어느 한도를 넘게 되면 돌이킬 수 없는 상태로 되어 있는 경우가 많다. 따라서 콘크리트 노화방지를 위해서는 교면방수, 아스팔트 보수와 같은 예방적 차원의 조치가 우선적으로 실시되어야 하며, 일단 콘크리트 노화의 징후가 조사되면 미관차원의 소극적 대책보다는 내구성 유지 혹은 내구성 향상과 같은 근본적 대책을 강구하여야만 콘크리트의

수명을 연장할 수 있을 뿐만 아니라 구조물의 안전율을 확보한 상태에서 유지관리가 가능할 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부, “콘크리트 내구성 평가절차 및 지침(안)” 1999.12
2. 건설부 국립건설시험소, “제설재사용으로 인한 콘크리트 피해조사”, 1993.2
3. 기문당, “레미콘품질관리”, 한천구, 2002