

제 4 장 교량의 성능저하

4.1 성능저하 종류 및 원인

4.2 부재별 성능저하 원인 및 사례

제 4 장 교량의 성능저하

4.1 성능저하 종류 및 원인

일반적으로 교량에서 발생하는 성능저하(손상)는 교량의 안전점검 및 정밀안전진단 또는 유지관리 시에 쉽게 발견할 수 있는데 이러한 성능저하 현상은 교량의 안전성에 영향을 미치는지 여부에 따라 구조적인 변상과 비구조적인 변상으로 나뉘게 되며, 일반적으로 재료적 특성에 따라 포장(아스팔트), 콘크리트, 강재로 구분될 수 있으나 본 지침의 대상시설은 철도교량(아스팔트 포장 미적용)인 관계로 콘크리트와 강재의 성능저하의 종류 및 원인에 대해 기술하였다.

4.1.1 콘크리트

가. 균열(Crack)

작용하중에 의한 인장응력이 콘크리트 인장강도를 초과하는 경우 한 부분 혹은 여러 부분으로 벌어지는 현상으로 균열의 원인은 수화열에 의한 온도강하, 건조수축 등의 재료적인 특성에 의한 비구조적인 균열과 하중에 의한 구조적인 균열로 구분할 수 있다.

- 소성수축균열(plastic shrinkage cracks) : 콘크리트타설 후 발생한 수막이 시간 경과에 따라 대기중으로 증발하여 표면이 건조해지면서 수축되는데 이때 내부 구속 에 의해 인장응력이 발생하게 된다. 타설초기이므로 콘크리트의 인장저항력 자체가 극히 작아 구속응력이 이를 초과하여 균열이 발생함
- 침하균열(settlement cracks) : 콘크리트타설 초기 거푸집의 침하 혹은 다짐불량에 따라 상대적으로 단면이 두꺼운 부분의 철근위치에서 침하량의 차이에 의해 일반적으로 발생함
- 초기온도균열(early thermal cracks) : 새로 타설한 콘크리트는 시멘트 수화열에 의해 온도가 상승하며, 최고온도에 도달한 후 대기와 접하는 바깥쪽부터 식기 시작한다. 콘크리트 초기인장강도보다 크게 되어 발생하는 균열로 콘크리트 표면에 주로 발생
- 건조수축균열(drying shrinkage cracks) : 콘크리트 양생과정 중 콘크리트 내부의 수분이 대기중으로 증발하게 됨에 따라 불규칙하게 발생하는 균열
- 구조적균열: 콘크리트단면의 철근량 부족이나 과재하중이 작용하는 경우 발생하는 균열

◦철근부식에 의한 균열 : 콘크리트 내부에 철근부식에 따른 부피팽창으로 콘크리트에 균열이 발생하며 균열부로 녹물 등의 흔적이 발견됨

일반적으로 균열은 구조물이 설치된 제반환경조건(건조 습윤, 부식성 및 고부식성)을 고려하여야 하며, 각 환경조건에 따라 허용균열폭 이내로 만족하도록 요구하고 있다. 습윤 환경조건에서 철근은 0.3mm와 0.005Cc [중 큰 값을 긴장재는 0.2mm와 0.004Cc 중 큰 값을 허용균열폭으로 규정하며, [여기서 Cc : 최외단 주철근의 표면과 콘크리트표면 사이의 콘크리트 최소 피복두께(mm)] 보통 철근콘크리트 구조물에서 폭 0.3mm이상의 균열은 보수대상으로 한다.

나. 표면결합 및 손상

◦박리(Scaling) : 박리는 콘크리트 표면의 모르타가 점진적으로 손실되는 현상으로 콘크리트의 끝손질 및 양생이 부적절할 경우 주로 발생하며, 표면에서 모르타 손실깊이를 기준으로 4가지로 나눌 수 있다.

- ① 경미한박리- 0.5mm 미만
- ② 중간정도의박리- 0.5mm 이상1.0mm 미만
- ③ 심한박리- 1.0mm 이상25.0mm 미만
- ④ 극심한박리- 25.0mm 이상으로조골재손실

◦박락(Spalling) : 박락은 균열을 따라 콘크리트의 표면이 원형으로 떨어져 나가는 층분리현상이 심화된 것이며, 정도에 따라 아래와 같이 분류할 수 있다.

- ① 소형박락 - 깊이25mm 미만 또는직경150mm 미만
- ② 대형박락 - 깊이25mm 이상또는직경150mm 이상

◦재료분리: 콘크리트 시공 시 운반·타설·다짐불량으로 인해 콘크리트 표면에 골재(자갈)가 벌집형태로 노출되어 있는 상태

다. 누수(Leakage)

콘크리트의 균열부나 틈새에서 물이 새는 것으로 백태, 철근부식 등의 결함을 유발하는 현상이다.

라. 층분리(Delamination)

층분리는 염화이온(Cl-)침투, 중성화 등의 원인에 의해 철근이 부식되고 이로 인한 부식팽창압이 철근주변의 콘크리트에 작용하여 콘크리트와 철근을 분리시키는 현상이다.

마. 백태(Efflorescence)

백태는 콘크리트 경화 후 콘크리트속의 수산화석회 등이 물에 녹아 물의 증발과 더불어 표면에 스며나오며, 공기 중의 탄산가스와 화합하면 표면에 고형화된 백색의 결정체를 형성한다. 이는 콘크리트 노후화의 증거이며, 심할 경우 고드름 형태의 유리석회가 형성된다.

바. 사고에 의한 손상(Damage)

콘크리트는 외부의 충격에 의해 부서지는 취성재료이다.

4.1.2 강재

가. 부식(Corrosion)

강재에서의 가장 일반적인 형태의 노후화 현상으로서 환경적요인에 의한 부식전류에 의한 부식, 박테리아에 의한 부식, 과대응력에 의한 부식, 그리고 마모에 의한 부식이 있다. 일반적인 환경에서 강재의 부식속도는 대략 1년에 0.02mm정도 이다. 그러나, 제설작업 등으로 염화칼슘, 황산염 등의 무기질이온에 노출되면 일년에 0.3mm 이상 부식되고, 강재단면에 구멍이 뚫리기도 한다. 부식으로 단면이 손실된 부위는 교량의 내하능력에 심각한 영향을 미치고 피로파괴의 위험을 유발시킬 수 있다.

나. 피로균열(Fatigue cracks)

피로균열은 과다한 응력변동이 구조적으로 취약한 부위에 가해지면 생기고 갑작스런 파괴로진전될 수 있다.

피로균열을 유발하는 요소는 아래와 같다.

- ① 시설물의 하중이력
- ② 응력범주의 크기
- ③ 상세부위의 형태
- ④ 제작상태 및 질
- ⑤ 파괴 인성(Fracture Toughness)
- ⑥ 용접의 질

다. 과재하중(Over loading)

과재하중이란 구조물의 설계시 고려된 하중을 초과하는 하중을 말하며, 과재하중이 재하되면 인장부재에서는 신장(Elongation) 및 단면감소를 압축부재에서는 좌굴을 유발시킨다.

라. 외부충격에 의한 손상(Damage)

강구조물은 고강도의 재료로서 작은 단면으로도 높은 강도를 확보할 수 있지만, 화재 충격 등의 예기치 못한 외력이 작용하면 단면변형, 균열, 뒤틀림 등이 발생되기 쉬운 구조적특성을 갖고 있다.

4.2 부재별 성능저하 원인 및 사례

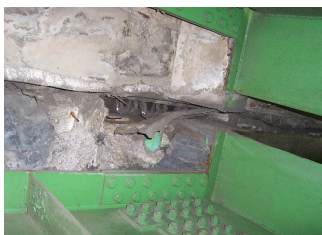
4.2.1 배수시설

부위별 성능저하항목	▷ 배수구(유입구) - 뚜껑(그레이팅)	◦뚜껑 및 주변 파손, 누락 ◦오물퇴적, 막힘 ◦배수구의 설치높이가 높음 ◦배수구 설치위치 불량 ◦배수구 설치간격 넓음
	▷ 배수관	◦관의 연결부 어긋남, 파손 ◦이물질에 의한 막힘 ◦지지철물의 이완 및 파손 ◦배수관 길이 부족 짧음 ◦유출구위치부적절
원 인	◦ 그레이팅 파손 - 주행차량의 하중에 의한 그레이팅의 허용 응력 초과 및 부식 - 그레이팅의 내구 연한 초과에 따른 기능상실 ◦ 오물퇴적 - 통행차량이나 보행자의 오물투기 및 청소불량 ◦ 막힘 - 배수구 단면부족에 의한 이물질퇴적 - 배수관 내부 오물 퇴적관 직경작음, 배수관의 경사가 완만하여 수평에 가까움, 배수관 굴곡부곡률 과소 ◦ 배수관파손 - 배수관 부식 및 파손 - 연결부상태불량 - 배수관 고정장치 탈락 ◦ 배수관 길이 짧음 - 배수관 길이의 부족 ◦ 유출구 위치 부적절 - 설계 또는 시공불량	

성능저하 사례			
	그레이팅 파손	오물 퇴적	배수구 막힘
			
	배수관 파손	배수관 길이부족	유출구 위치 부적절

4.2.2 바닥판

부위별 성능저하항목	▷ 공통		◦균열 박리 박락, 층분리 철근노출 ◦재료분리공동 공극 ◦누수 및 백태유리석회
	▷ 거더교		◦균열 망상균열
	▷ 슬래브 라멘상부	- 받침부단부	◦부스러짐 ◦사인장균열
		- 중앙부	◦휨균열
	▷ 라멘하부	- 측벽	◦균열수직, 수평
원 인	◦균열 박리 박락, 층분리 철근노출 - 통행하는 차량 반복하중의 피로에 의한 균열발생의 초기상태 - 시공당시배합 및 다짐불량에 의한 콘크리트의 품질불량 - 동결융해에 의한 영향 - 철근피복의 부족으로 탄산화 및 염해 제설재 염화칼슘에 의한 철근부식으로 박리발생 - 배수구가 막히거나 불량한 경우 바닥판 내부나 연석을 넘어 옆면으로 누수가 발생하여 내구성이 저하		

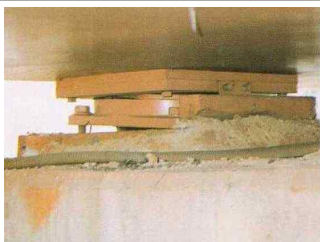
원 인	○ 재료분리 - 재료품질과 배합의 불량 - 운반지연 타설불량 다짐불량 등 ○ 백태 - 시공 당시 배합 및 다짐 불량에 의한 콘크리트의 품질불량 ○ 거더사이 균열 - 건조수축에 의한 균열 발생 ○ 바닥판 단부파손 - 거더의 건조수축에 대한 유간 미확보 - 바닥판 단부위치의 단차에 의한 충격하중 ○ 종방향 균열횡균열 - 단면부족 반복하중 중차량 동결융해 백태 등으로 인한 균열 발생으로 강도저하 등으로 인해 발생 ○ 슬래브교의 받침부 균열 및 부스러짐 - 단면 또는 철근량 부족, 받침작동불량		
성능저하 사례			
	박락, 철근부식 및 노출	콘크리트 탈락, 철근노출	배수구주변 콘크리트 손상
			
	재료분리	배수구주변 누수 및 백태	누수, 백태
			
	거더간 균열	바닥판 단부파손	하면 횡균열

4.2.3 신축이음

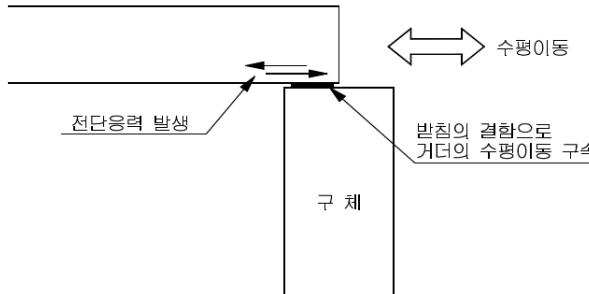
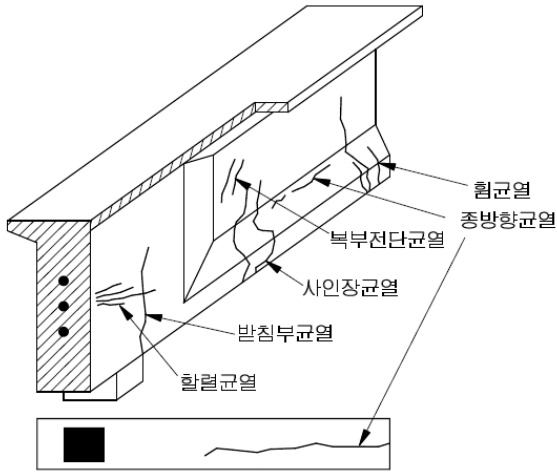
부위별 성능저하항목	▷ 본체	-공통	◦충격음, 본체유동 및 파손 ◦누수 ◦유간부족 및 유간과다 ◦유간 오물퇴적
		-고무재	◦고무판 마모 강판노출 및부식
		-강재	◦강재 연결부 이완 및 파손 - 노면수 유입
원 인	◦ 본체(앵글) 파손 - 신축이음장치의 내구연한 초과 - 열차에 의한 앵글의 부착력 부족으로 탈락 ◦ 본체 유간부족 또는 유간과다 - 설계시 거더의 신축 거동 계산오류로 유간이 과다 또는 부족한 상태로 시공 - 교량받침의 작동불량 ◦ 본체 강판노출 - 신축이음장치의 내구연한 초과로 표면마모 부식에 의한 노후화 ◦ 본체 단차 - 신축이음장치의 시공불량 - 공용중 상부구조의 이상 거동발생 ◦ 본체 방수재 파손 - 신축이음장치의 노후화로 인한 우수처리 고무재의 파손 ◦ 차수판 파손 및 미설치 - 차수판 파손 및 미설치로 인한 노면수 유입 ◦ 물받이 강판 파손 및 고무재 열화 - 물받이 강판 파손 및 고무재 열화로 인한 노면수의 부재 접촉		
성능저하 사례			
	고무재 열화	 신축이음 유간부족	 신축이음 누수
			
	차수판 파손	 차수판 미설치	 물받이 강판 파손

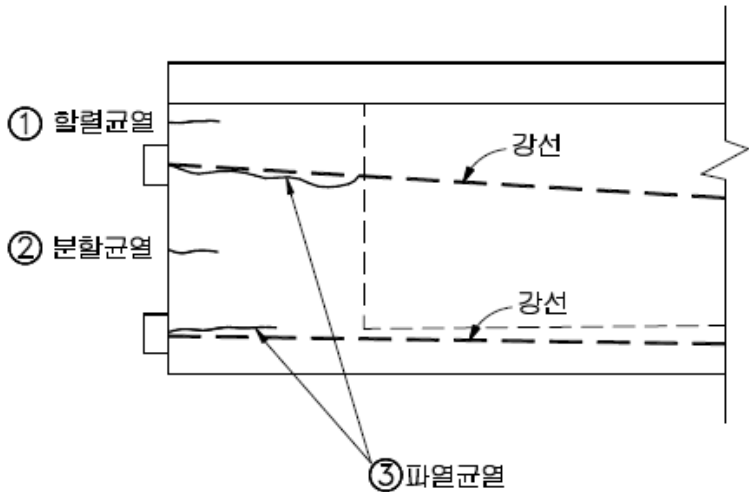
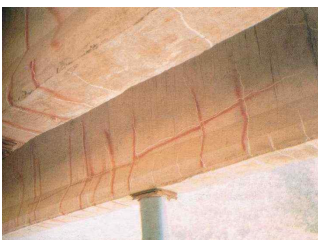
4.2.4 교량받침

부위별 성능저하항목	▷본체	-공통	◦가동받침의 신축유간 부족 ◦가동받침 전·후방의 가동장애 요소 ◦받침과 주형의 밀착상태 ◦수직보강재와 받침 편기상태 ◦받침 물고임 및 부식
		-강재받침	◦가동면 부식 ◦부속물 파손(부상방지장치 및 이동제한장치) ◦너트 및 탭볼트, 시트볼트의 이완 ◦롤러의 이탈
		-고무받침	◦고무재 부풀음 및 균열 ◦고무판의 과도한 변형
	▷받침대		◦앵커볼트파손 절단 ◦충전모르타르균열 파손 하부공동및침하 ◦받침거더 연결부주변거더균열 ◦받침지지면 콘크리트의압괴, 박리 ◦교각두부균열
원 인	◦포트받침들뜸 - 상부구조 이상거동 곡선교나 사교의 반반력 등 발생 또는 받침장치 작동불량 - 교량받침하부 모르타르의 부실시공 ◦부속물PTFE파손 - 노후 또는 받침설치오류 등에 따른 과다신축이 발생하면서 PTFE 밀려나옴 ◦편기설치 - 교량가설시 세트량 오류 - 크리프, 건조수축에 의한 예상 밖의 이동 ◦받침대 파손 및 연단부균열 - 지압응력 받침바닥면 크기 보강철근 연단거리 등에 대한 설계검토 부족 - 초기시공불량 또는 동결융해 차량하중 등으로 열화가 되어 강도저하 - 가동단 받침작동불량 및 받침들뜸이 발생하여 불균등한 반력작용 ◦받침침하 - 받침모르타르 품질불량 및 강도부족으로 파손 - 시공시 교량받침하면 보강철근미설치 - 공용 중 재하하중의 설계하중 초과로 받침모르타르 파손 ◦가동단 이동거리부족 - 이동량또는이동방향의검토부족또는받침장치작동불량 - 하부구조 과도변위 및 곡선교나 사교의 경우 형식 및 배치 부적절한 경우		

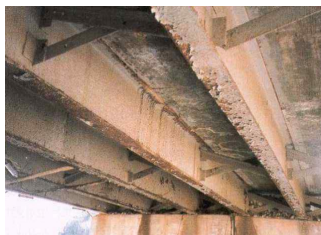
원 인	○ 고무받침 파손 - 모르타르 마무리 불량 등 시공불량 세트불량으로 편심작용 및 제조상 고무의 불량 ○ 앵커볼트 너트 풀림 - 시공불량, 나사길이 부족, 느슨한 체결 등 또는 철도하중으로 인한 진동 ○ 교량받침 이탈로 상판 낙하 - 이동량 또는 이동방향의 검토 부족 및 시공시 세트량 오류 ○ 받침거더 연결부 콘크리트 박락 - 가동받침의 이동 및 회전기능 장애 - 거더 받침부 보강철근 부족 ○ 받침부 하부 공동 - 모르타르 품질관리 충전의 불량 및 초기시공불량으로 받침부 들뜸으로 불균등한 반력작용 - 동결융해 차량하중 등으로 열화가 되어 강도 저하 - 곡선교나 사고 등과 같이 거동이 복잡한 경우 불균등한 반력으로 국부집중하중		
성능저하 사례			
	포트받침 들뜸	부속물 파손	편기설치
			
	받침대 파손	연단부 균열	받침 침하
			
	가동단 이동거리 부족	고무받침 파손	앵커볼트 너트 풀림

4.2.5 프리스트레스 콘크리트 거더

부위별 성능저하항목	▷ 공통	◦ 박리 박락(파손, 철근노출, 백태유리석회)
	▷ 받침부	◦ 신축이음 하면 및 배수구 주변 누수 백태 ◦ 부스러짐 ◦ 복부사인장균열
	▷ 중앙부	◦ 휨균열 종방향 균열 ◦ 거더 처짐 ◦ 쉬스판노출, 파손
	▷ 가로보	◦ 파손, 철근노출
	▷ 강선 정착구역	◦ 정착구역 균열 및 파손 ◦ 강선 보강부위 구조물과 분리
원 인	◦ 받침부손상  전단응력 발생, 받침의 결함으로 거더의 수평이동 구속, 수평이동, 구 체 ◦ 휨균열 및 전단균열  휨균열, 종방향균열, 복부전단균열, 사인장균열, 받침부균열, 활렬균열 ① 경간중앙부 휨균열 : 설계하중을 초과하는 과대하중 재하시 발생 ② 복부 전단균열 : 휨 모멘트에 의한 전단력이 클 경우 발생 ③ 하부플랜지 쉬스판 노출 : 콘크리트 타설 미흡으로 인해 발생 ④ 받침부 균열 : 받침부의 응력집중과 받침의 작동 미흡으로 인해 발생	

원 인	○ 정착구역의국부균열  ① 활렬균열: 하중집중점 주변이 부풀어 오르면서 발생 ② 분렬균열: 여러개의 정착단 사이에 분할력이 발생 ③ 파렬균열: 긴장재로 인한 압축응력이 복부로 분산		
성능저하 사례	 플랜지하면 백태	 가로보 철근노출	 쉬스관 노출
	 거더의 휨	 정착구역 파손	 받침부 균열
	 휨균열, 종방향 균열	 받침부 균열	 받침부 부스러짐

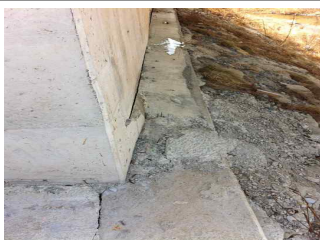
4.2.6 강재 플레이트 거더(I 형거더 포함)

부위별 성능저하항목	▷공통	◦도장손상 및 부식 ◦이음부 볼트손상 및 누수 ◦신축이음 하면, 배수구주변 난간하면 누수, 부식 ◦이상을 발생		
	▷받침부	◦복부판 부식 및 국부좌굴 ◦거더와 받침연결부 부식 ◦게르버교의 경우 핀 연결부 부식 ◦지점보강재 하단 용접부균열		
	▷중앙부	◦플랜지부식 ◦플랜지변형 및 처짐 ◦맞대기용접부 덮개판 덧댐부끝부분 균열		
	▷2차부재	◦가로보 세로보 브래킷 및 브레이싱 변형 ◦하중집중점 가로보 브레이싱 설치부 용접부 균열 ◦거세트판 용접부끝부분 균열		
	▷보수부위	◦용접부 및 용접부주변 균열		
원 인	◦부식 - 단부받침부신축이음 하면 노면수유입 - 게르버교핀 연결부 노면수 유입 - 배수관 길이부족으로 노면수 접촉 - 노면수에 의한 외측거더 노출 ◦균열발생 - 받침부 지점보강재하단의 받침의 구속에 의한 균열 - 맞대기 용접부 덮개판 덧댐부 끝부분피로 균열 - 2차부재와의 연결부면 외변형에 의한 균열			
성능저하 사례				
	강재 부식	도장 손상	복부판 균열	
				
	용접불량	볼트 누락	비둘기 배설물 퇴적	

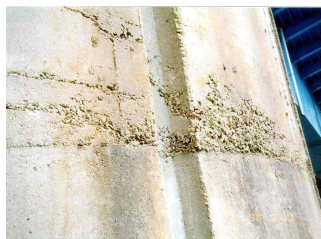
4.2.7 강박스 거더

부위별 성능저하항목	▷공통	◦도장손상 및 부식 ◦이음부 볼트손상 및 누수 ◦신축이음 하면, 배수구주변 난간하면 누수, 부식 ◦이상음 발생		
	▷받침부	◦복부판 부식 및 국부좌굴 ◦거더와 받침연결부 부식 ◦박스내부 출입구 방치 ◦박스내부 바닥 물고임 및 부식		
	▷중앙부	◦맞대기용접부 균열 ◦플랜지변형 및 처짐 ◦다이아프램 연결부 균열		
	▷2차부재	◦가로보 세로보 브라켓 및 브레이싱 변형 ◦거세트판 용접부끝부분 균열 ◦가로보와 세로보 교차부 균열		
	▷보수부위	◦용접부 및 용접부주변 균열		
원 인	◦부식 - 단부받침부신축이음 하면 노면수유입 - 배수관 길이부족으로 노면수 접촉 - 노면수에 의한 외측거더 노출 ◦균열발생 - 받침부지점보 강재하단의 받침의 구속에 의한 균열 - 맞대기용접부 끝부분 피로균열 - 2차부재와의 연결부면 외변형에 의한균열			
성능저하 사례				
	강재 부식	내부 체수	비둘기배설물 퇴적	
				
	용접불량	볼트 누락	외부충격에 의한 변형	

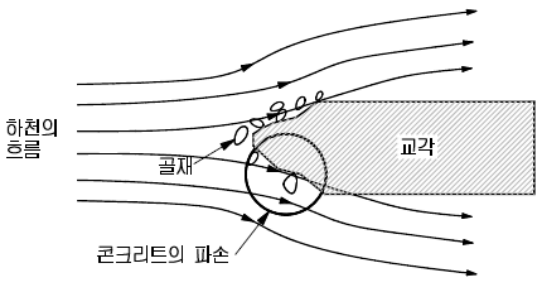
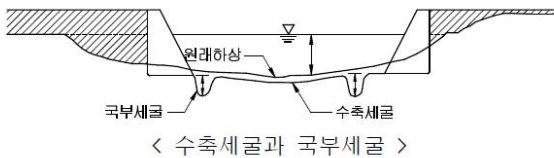
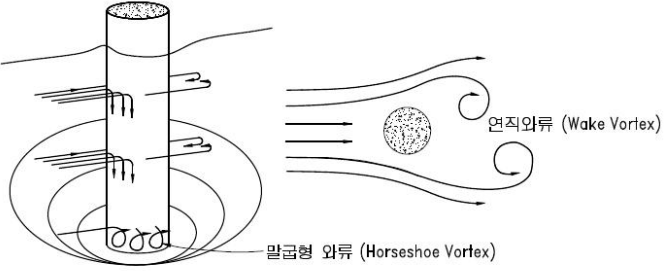
4.2.8 교대

부위별 성능저하항목	▷ 공통	◦ 교대 기울음 및 전도 ◦ 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)	
	▷ 두부	◦ 두부 물고임 ◦ 받침부 균열 및 파손 ◦ 두부와 홍벽 경계부 균열 ◦ 거더와 홍벽 신축유간부족	
	▷ 벽체	◦ 수직균열 및 침하 ◦ 구체와 날개벽 분리 ◦ 구체부 배수구막힘 ◦ 수면접촉부 침식	
	▷ 날개벽(옹벽 포함)	◦ 날개벽 이동 전도 ◦ 석축이 있는 경우 사면붕괴	
원 인	◦ 교대기울음 및 전도 - 하상세굴, 교대 배면에서 작용하는 수압, 교대 양면의 뒷채움재 침식, 기초의 침하 또는 부실한 설계 ◦ 균열 박리 박락 및 철근노출 - 온도변화 : 온도의 변화에 따른 수축과 팽창 - 설계 및 시공 : 부실설계 또는 시공불량으로 부재내하력 부족 - 철근부식 : 염해 및 탄산화로 부식이 발생하여 팽창에 의한 균열 - 기타 : 동결융해작용이나 건조수축의 반복, 화학적작용 ◦ 침하 - 지반지지력의 약화, 압밀침하, 하상세굴, 재료의 팽창, 기초손상 등 ◦ 백태 - 시공당시 배합 및 다짐불량에 의한 콘크리트의 품질불량 ◦ 누수 - 신축이음의 우수처리장치 손상, 배수구의 막힘 또는 위치 부적절 ◦ 재료분리 - 콘크리트배합 및 다짐불량, 운반지연 타설불량 다짐불량 등		
성능저하 사례			
	구체 횡방향 균열	받침부 파손	두부 백태
			
	부등침하	누수	철근노출

4.2.9 교각

부위별 성능저하항목	▷공통	◦기울음 및 전도 ◦균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)				
	▷두부	◦두부 물고임 ◦받침부 하부 균열 및 파손				
	▷구체	◦수직균열 및 침하 ◦이동 또는 기울음 ◦수면접촉부 침식				
원 인	◦균열 박리 박락 및철근노출 - 온도변화 : 온도의 변화에 따른 수축과 팽창 - 설계 및 시공 : 부실설계 또는 시공불량으로 부재 내하력부족 - 철근부식 : 염해 및 탄산화로 부식이 발생하여 팽창에 의한 균열 - 기타 : 동결융해작용이나 건조수축의 반복, 화학적작용 ◦침하 - 지반지지력의 약화, 압밀침하, 하상세굴 재료의 팽창, 기초손상 등 ◦파손 - 유목, 차량 충돌 등					
성능저하 사례						
	구체 수직균열		측면 균열		구체 재료분리	
						
	박리		두부 철근노출		두부 박락	

4.2.10 기초

부위별 성능저하항목	▷ 공통	• 박리, 박락, 철근노출, 백태 • 침식, 세굴, 측방유동, 침하
	▷ 직접기초	• 콘크리트균열및파손
	▷ 말뚝기초	• 말뚝 노출 및 침식
	▷ 케이슨기초(우물통기초)	• 케이슨 노출 및 침식 • 충돌파손
원 인	○ 기초침식 - 흐르는 물에 의한 침식작용발생  ○ 기초세굴 - 흐르는물에 의해 하상이나 성토부의 재료가 유실되는 손상으로 일반세굴(General Scour), 수축세굴(Contraction Scour), 국부세굴(Local Scour)이 있으며 대부분 와류(Vortices) 형성으로 인한 국부세굴이 문제가 된다.  < 수축세굴과 국부세굴 >  < 원형기초의 국부세굴 >	
성능저하 사례	 기초 세굴	