

항만포장 유지관리의 특징에 대하여



김기현 | 정회원 · 한국건설기술연구원 전임연구원
 안덕순 | 정회원 · 한국건설기술연구원 전임연구원
 엄병식 | 정회원 · 한국건설기술연구원 전임연구원
 남정희 | 정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원

1. 서 언

항만 시설은 다양한 구조물로 이루어져 있으며, 각 시설별 특징 또한 매우 다르다. 일반적으로 항만 시설의 유지관리는 구조물의 안전성 위주로 접안시설과 계류시설을 주 대상으로 안전점검 및 정밀안전진단 체계를 갖추고 있으며, 관리자는 이러한 시설물의 유지관리를 매우 중요하게 생각한다. 이에 반해서, 항만 시설 중 양적인 면에서 매우 높은 비율을 차지하는 항만 포장에 대한 유지관리는 그 중요도가 매우 낮게 인식되고 있어 항만포장의 상태 평가, 유지관리에 대한 구체적인 기준이나 이력관리 등의 체계가 마련되어 있지 않다. 현재, 항만포장에 대한 평가 기준은 접안시설과 같은 구조물 인접지역 포장의 경우에 간략하게 정의되어 있으며, 항만 내 주행로의 경우에는 도로 포장 파손 범주 내에서 관리하도록 하고 있다.

2. 하부구조 특성에 따른 항만포장 유지관리의 특징

항만포장은 일반 도로포장이나 공항포장과는 달리 다양한 시설물 및 매립지반 상에 건설하기 때문에 하부구조의 특성에 기인한 파손이 많으므로 그 특징을 먼저 이해하는 것이 유지관리를 위해 매우 중요하다.

즉, 항만시설의 종류 및 상태에 따라 항만포장의 유지관리는 차별화되어야 하는데, 1종 시설물로 분류된 부두는 대부분 잔교식이고, 2종 시설물로 분류된 부두는 잔교식보다는 중력식이 많으며, 기타 시설물로 분류된 부두는 대부분이 중력식이다.

이러한 부두시설의 기초는 조석의 변화에 의해 하부로 침강하는 특징을 가지고 있으며, 그림 1과 같이 기본적으로 해수의 유입과 유출을 허용하는 구조이기 때문에 극단적인 경우 그림 2에서와 같은 파손도 발생할 수 있다. 접안시설 후위의 매립지반에 대해서도 조석에 따른 해수의 유출입이 계속적으로 발생하기 때문에 매립토 유실에 의한 침하 때문에 장기적으로 진행되는 파손이 발생하고 특히, 매립토의 유출을 막기 위한 필터매트의 파손 등에 의한 공동 발생의 우려도 존재하는 등 하부구조에 대한 다양한 검토가 필요하다.

항만포장의 하부구조(보조기층 등)가 하부로 침강하는 특징 때문에 항만시설에서의 포장 파손 즉, 노면변형은 그 정도의 차이만이 있을 뿐 근본적으로 모두 진행성 파손으로 인식하고 대처해야 한다. 따라서 항만포장의 유지관리를 실시할 때 노면변형의 진행성 정도를 최우선으로 파악할 필요가 있는데, 파손이 진행성일 경우 일반적인 도로상에서 행해지는 유지보수를 통해서 일정한 기간 동안 온전한 공용성능의 회복을 기대할 수 없기 때문이다.

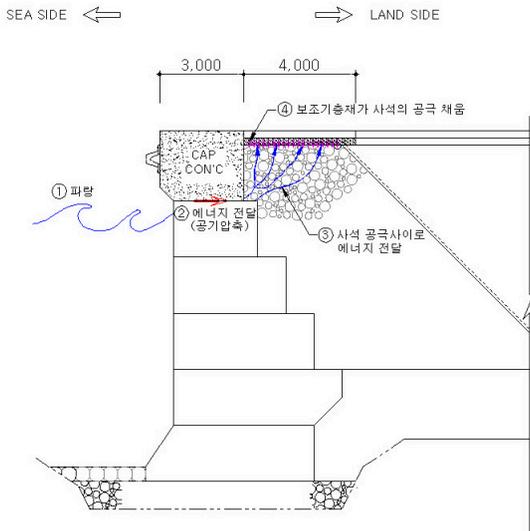


그림 1. 항만포장(부두뜰) 손상 개념도



그림 2. 항만포장 함몰(일본사례)

그림 3과 같이 침하로 인해 부두뜰에 발생한 수는 기능상, 안전상 문제가 되는 파손이기 때문에 보수를 시행해야 하지만, 진행성 여부에 대한 판단 없이 침하된 기층까지 절삭 후 덧씌우기 하거나 포장층의 재시공 등의 대대적인 보수를 시행하여도 하부구조에서 기인한 침하가 계속 진행중인 구간이라면 같은 형태의 파손이 계속해서 발생하게 된다. 이렇게 파손이 진행성의 특성을 가지는 경우 체수가 발생하는 부분의 기능성, 안전성을 일시적이지만 경제적이고 효과적으로 회복시킬 수 있는 아스팔트 혼합물 덧씌우기를 시행하는 것이 일반적인 항만포장의 유지관리 대안이 된다.



그림 3. 부두뜰 침하(대흑산도)

즉, 표 1의 ① 노면변형(진행성)에서와 같이 포장의 파손이 진행중인 것인지를 먼저 파악하여 기능성 및 안전성을 회복시키기 위한 범위 내에서만 유지보수를 실시하는 것이다. 만약 적절한 평가를 거친 결과 진행이 끝난 파손으로 파악된다면, 표 1의 ② 노면변형(비진행성)에서와 같이 포장 하부의 문제까지 개선할 수 있는 유지보수 공법을 적용하여 구조적, 기능적으로 모든 기능을 회복할 수 있도록 조치해야 한다.

3. 항만시설의 운영 특성에 따른 항만포장 유지관리의 특징

표 1. 진행성 정도에 따른 항만포장 유지보수 공법 선정 개념

| 구분 | ① 노면변형(진행성) | ② 노면변형(비진행성) |
|-------|---|--|
| 손상 사진 |  |  |
| 개요도 |  |  |
| 보수 개요 | 기능성 및 안전성을 만족하는 범위에서 보수공법 선정 | 지반개량·지반치환 등의 하부구조 안정화 공법 선택 후 포장층 보강 |

일반적인 도로에서는 포장의 파손이 진행되면 주로 운행의 쾌적성을 저해하거나 안전성을 저해하는 등의 이유로 이용자의 불편과 손실을 유발하게 된다.

그러나 연속적인 물류의 수송 특히 하역작업과 보관을 주목적으로 하는 항만에서는 항만시설물의 관리자 또는 운영자에 고용된 교통만이 발생하고 일반 도로에 비해 운행속도가 매우 낮게 제한되어 있기 때문에 안전성과 승차감 등의 기능적 요소에 대한 관리수준 또한 매우 낮다.

예비조사를 위해 방문한 항만들의 사례에 따르면 인천항, 군산항, 마산항 등 대형 무역항 및 비교적 물동량이 적은 소형 연안항 모두 항만포장에서는 관리주체의 화물의 물류와 저장이라는 기본적인 기능을 저해하지 않는다는 정성적인 판단기준에 따라 어느 정도까지의 포장의 파손에 대해서는 파손을 보수하지 않고 있다. 파손된 포장을 보수하지 않아서 발생하는 승차감, 안전성의 저하에 따른 손실은 주된

관심의 대상이 아니며, 해당 항만의 이용도가 높을 경우 오히려 항만포장의 유지보수를 위해 시설의 사용을 못하게 될 경우 항만시설의 운영주체 즉, 항만포장의 주 이용자에게 발생하는 직접적인 경제적 손실이 유지보수 의사결정에 보다 큰 영향을 미치고 있다.

이렇게 시설물의 기능적 구분에 따라 시설물의 활용자체가 수익과 직결되는 항만시설의 특성은 관리주체보다 계약에 따른 운영주체의 사용상의 권리가 우선하는 경우가 많으며, 계약내용에 따라 운영주체가 일정수준의 유지관리 행위를 담당하고 있기 때문에 이러한 경향은 더욱 크게 나타난다.

4. 항만포장 유지관리 대상의 정의

항만시설 내의 모든 포장을 대상으로 과학적인 조

사 및 상태평가를 통한 합리적인 유지관리 의사결정을 지원하는 체계를 구축하기 위해서는 먼저 대상이 되는 포장을 명확하게 정의하는 것이 매우 중요한다. 항만포장은 다양한 시설물 및 매립지반 상에 건설하기 때문이다.

앞서 설명한 것과 같은 이유로 항만포장은 당초 포장의 설계 즉, 관리목적의 구조적인 구분보다 운영상의 기능에 의해 구분되고 이러한 구분에 따라 관리되고 있다.

항만포장은 그 기능상 크게 물류의 하역작업이 이루어지는 부두틀 포장(Apron Pavement), 화물을 적재, 보관하는 야적장 포장(Yard Pavement), 항만시설 내 도로인 주행로 포장(Road Pavement)의 세 가지로 크게 나누어지며 이에 따라 유지관리를 위한 방법에 있어서 조사방법 등에 대해서는 각각

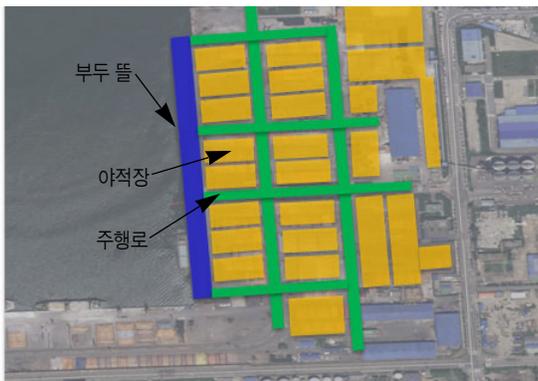


그림 4. 부두시설 설계상 운영계획



그림 5. 야적장으로 사용되는 주행로 운영현황

상황에 맞도록 개별 검토할 필요가 있다. 그림 4, 그림 5의 군산항 1부두 예시와 같이 주행로에 야적이 이루어지거나, 하역장비 또는 차량 등이 적치되는 등 계획, 설계와는 달리 운영되고 있는 부분이 많기 때문에 적절한 관리를 위해서는 기능상 구분을 우선으로 하되, 당초 설계 즉 포장하부 구조 등의 구분에 의해 적절한 유지관리가 이루어지도록 기존 포장의 설계, 유지관리 등에 대한 현황을 파악하여 이에 따른 유지관리를 실시하는 것이 중요하다.

현재 항만포장에서의 위치를 확인하기 위한 표식은 건물 또는 선석을 기준으로하거나 간단한 노면표시 등 각 항마다 서로 다른 방식으로 위치정보를 표시, 확인하고 있다. 위에서 언급한 시설물별 구조적 구분을 통한 합리적인 유지관리를 위해서나 체계적인 야적장 관리 및 운영을 위해서도 표식방법을 개선할 필요가 있다. 이러한 항만포장의 정확한 위치 표식체계는 항만포장의 유지관리를 위한 조사, 분석 및 평가 D/B 구축, 유지보수 공사 시행에 기초가 되기 때문에 꼭 필요하므로 다음과 같은 표식방안을 마련하였다.

항만포장 표식을 위한 ID 명명 원칙은 다음과 같다.

- 항 ID : 항만 CALS에서 부여된 번호를 사용한다.
- 부두 ID : 부두별로 명명한다.
- 시설물 ID : 시설물의 용도에 따라 명명한다.
에이프런(A), 야적장(Y), 주행로(R)로 구분한다.
- 방향 ID : 시설물의 방향에 따라 ID를 명명한다.
방향은 배의 접안과 평행할 경우 P로 명명하고, 수직일 경우 T로 명명한다.
- 시설 ID : 각 시설물의 방향별 위치한 순서에 따라 ID를 명명한다.
- 시설물 표식 : 각 시설물의 노면에 표시된 인식번호를 말한다. 에이프런과 주행로는 시점과 종점을 말하며, 야적장은 개별구획을 말한다.
- 군산항 외항 1부두 에이프런의 ID 명명 예 : 142-01-A-P-1
- 평행한 시설물 : 바다를 정면으로 바라보고 오른쪽

끝단이 시설물의 시점이다.

항만포장 표식의 방향은 다음과 같다.

- 수직인 시설물 : 바다와 인접한 부분의 끝단이 시설물의 시점이다.
- 노면표시의 시설물의 용도는 3가지로 구분한다. 에이프런(A), 야적장(Y), 주행로(R)로 구분한다.
- 각 시설물의 시점과 종점을 표시한다. 주행로의 경우 방향에 따라 평행(P), 수직(T)로 구분한다.

표 2. 군산항 1 부두 시설물 ID 적용 예

| 항명 | 항 ID | 부두 ID | 시설물 ID | 방향 ID | 시설 ID | 설 명 | 노면 표식 | 관리 주체 |
|-----|------|-------|--------|-------|-------|--------------------|---------|-------|
| 군산항 | 142 | 01 | A | P | 1 | 1부두의 에이프런 | AS/AE | 주관 |
| | | | | | 1-6 | 1부두의 야적장(총 6개) | Y1-Y6 | 임대 |
| | | | R | P | 1 | 바다와 인접한 첫 번째 도로 | RPS/RPE | 주관 |
| | | | | | 2 | 바다와 인접한 두 번째 도로 | RPS/RPE | 주관 |
| | | | | T | 1 | 도로P시점과 인접한 첫 번째 도로 | RTS/RTE | 주관 |
| | | | | | 2 | 도로P시점과 인접한 두 번째 도로 | RTS/RTE | 주관 |

5. 항만포장 설계상 특징

도로 및 공항과는 하중조건이 확연하게 다른 항만 포장의 설계는 해양수산부에서 발간한 “항만 및 어항 설계기준”을 이용하여 수행되고 있다. 부두포장은 크게 부두뜰(Apron), 야적장(Yard), 주행로(Road) 3가지로 구분할 수 있다. 항만 및 어항 설계 기준에는 부두뜰에 대한 설계방법이 제시되어 있다. 부두뜰 및 주행로는 장비의 주행특성 및 하중조건, 노상의 강도 및 예상 침하량, 재료, 장비, 배수에 대한 표면경사를 고려해야 한다. 일반적으로 사용되는 포장형식은 콘크리트 포장, 아스팔트 포장, 블록포장이 있으며, 국내에서는 대부분 콘크리트 포장이나 아스팔트 포장을 이용하고 있다.

표 3은 항만시설 중 부두뜰 및 주행로의 포장공법에 대해서 정리한 것이고, 표 4는 도로포장 및 공항포장에 비교한 항만포장의 특징을 정리한 것이다.

표 3. 부두뜰(Apron) 및 주행로 포장공법 비교

| 구 분 | 아스팔트 포장 | 콘크리트 포장 | 콘크리트 블록포장 |
|--------------|---|--|--|
| 설 계 단 면 (cm) | | | |
| 구조적 특징 | <ul style="list-style-type: none"> • 일반 아스팔트 포장층에서 슬래그 기층 및 입상재료기층에 비하여 상대강도계수가 높은 역청안정처리기층 적용으로 포장두께 감소 | <ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 슬래브 자체로 교통하중 및 온도변화에 대해 지지 • 골재 맞물림 작용 및 다웰바를 통해 슬래브간 하중전달 | <ul style="list-style-type: none"> • 구조적인 거동은 아스팔트 포장과 유사하며 블록의 인터록킹 효과에 의하여 교통하중을 지지 |
| 시공성 | <ul style="list-style-type: none"> • 현지 조달 가능한 자연산골재 또는 약간의 입도개량골재에 역청재를 첨가하여 사용하므로 자재공급이 용이 | <ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 품질관리, 양생, 평탄성 관리, 줄눈시공 등에 고도의 숙련 요구 • 장기 양생 필요 | <ul style="list-style-type: none"> • 포설이 용이 • 시공속도가 늦으며 국내 기술축척이 미비함 • 마무리부 등 세밀한 시공관리 필요 • 공법이 간단 |

(표 계속)

| 구 분 | 아스팔트 포장 | 콘크리트 포장 | 콘크리트 블록포장 |
|-------------|---|--|--|
| 공용성 | <ul style="list-style-type: none"> AASHTO시험결과 포장의 내구성 향상에 크게 기여 시공시 적정의 평탄성을 얻기 쉽고 표층 또는 중간층과 일체가 되어 구조적으로 유리 | <ul style="list-style-type: none"> 승차감이 비교적 불량하며 소음 발생 | <ul style="list-style-type: none"> 승차감이 비교적 불량하며 소음 발생 우수의 노상면 투수방지를 위한 콘크리트 기층 필요 |
| 유 지 관 리 | <ul style="list-style-type: none"> 잔류침하가 예상되는 구간에 장기간의 공용후 덧씌우기로 마모층의 복구와 동시에 침하높이를 조정가능하며 유지관리시 소규모 시공이 가능 | <ul style="list-style-type: none"> 부분적인 보수를 할 경우 운영 중단 | <ul style="list-style-type: none"> 부분적인 보수 가능 유지보수가 용이 블록 재활용 가능 |
| 연 약 지 반 적응성 | <ul style="list-style-type: none"> 연약지반의 부등침하에 의한 적응성 양호 | <ul style="list-style-type: none"> 연약지반에서 지지력 저하 시 응력과다 발생으로 조기파손 | <ul style="list-style-type: none"> 연약지반의 부등침하에 의한 적응성 양호 연약지반의 투수 방지를 위한 방수 매트 필요 |
| 국 내 적용현황 | <ul style="list-style-type: none"> 부산신항 북컨테이너 터미널 등 다수 터미널 이용 | <ul style="list-style-type: none"> 일반적인 국도 및 고속도로에 적용 | <ul style="list-style-type: none"> 국내 적용사례 없음 |

표 4. 도로, 공항에 대한 항만포장의 특성

| 항목 | 부두포장 | 도로포장 | 공항포장 |
|--------|--|---|--|
| 관련 기준 | 항만 및 어항 설계기준(2005) - 해양수산부 | 도로설계기준 - 국토해양부 | 비행장 포장 설계 매뉴얼 (2009. 12) - 국토해양부 |
| 설계 방법 | 주행로 <ul style="list-style-type: none"> - 도로포장 설계와 동일 - AASHTO Guide 이용 | - AASHTO Guide 활용 | - FAA 및 ICAO 설계방법을 고려하여 작성된 비행장 포장 설계 매뉴얼 활용 |
| | 부두뜰 (Apron) <ul style="list-style-type: none"> - 콘크리트 : Westerggard 식 및 노모그래프 이용(CP1~CP4) - 아스팔트 : 표 이용(AP1~AP4) | | |
| | 야적장 <ul style="list-style-type: none"> - 주행로와 동일하게 설계하고 야적장으로 활용 - 컨테이너 야적장의 경우 쇄석포장을 많이 적용하고 있음 | | |
| 공통 사항 | - 교통량 환산 : 각 목적에 맞도록 교통량 환산(교통량 환산 방법이 각각 다름) | | |
| 특이 사항 | - 항만 및 어항 설계기준에는 부두뜰(Apron)에 대한 설계 방법 제시 | - 국도 PMS의 운영결과를 바탕으로 예산이 배정되며, 20년 이상 운영되고 있음 | - 공항포장의 설계에서 평가, 유지관리까지 전체 과정에 대한 매뉴얼이 작성되어 있음 |
| 관련 시스템 | - | - 국도 PMS | - KAPMS |
| 평가 인자 | - 부두뜰(Apron) : 침하, 배수 - 주행로, 야적장 : 침하, 배수, 포트홀 | - 소성변형, 평탄성, 균열율 등 | - 평탄성, 마찰력, 소성변형, 빗물 침투(줄눈재 파손) 등 |

6. 항만포장 파손의 특징

항만 내 포장파손 상태 및 유형을 파악한 결과, 제

한된 시설 및 낮은 관리수준을 가지는 특성으로 인하여 일반 도로포장이나 공항포장에 비하여 포장 파손 유형이 다양하고 파손의 심각도가 높은 것으로

나타났다.

부두뜰 포장의 파손 특징은 주로 하역시설 및 하역 장비에 의한 직접적인 파손과 접안 시설 구조물의 약화와 조석에 의한 포장하부 구조의 침강으로 발생하는 침하 파손 형태가 두드러지게 나타난다. 접안시설 후위의 매립지반에 대해 포장하부의 공동을 미리 파악하게 되면, 인접 구조물 안전진단 시 매우 중요한 자료가 될 수 있다. 야적장 포장의 경우에는 하역된 물류를 보관하는 장소로 우천 시 물고임 현상이 없도록 하는 것이 중요하며, 이를 위해서 야적장내 포장의 일정한 경사를 유지하도록 해야 하는 특징을 가지고 있다. 포장 파손은 컨테이너 물류 야적장의 경우, 컨테이너 접지면의 하중으로 인한 함몰된 파손 및 설계된 경사를 유지하지 못하는 침하된 파손 현상이 나타났다. 항만 시설 내 주행로 포장의 경우에는 트레일러 중하중에 의한 파손이 지배하고 있었으며, 일반 도로에 비해 관리수준이 매우 낮아 소성변형, 거북등 균열과 포트홀, 라벨링 등이 다수 파악되었다.



그림 6. 침하로 인해 체수가 발생한 부두뜰포장(목호항)



그림 7. 거북등균열, 라벨링이 발생한 주행로포장(군산항)

7. 결론

이상 살펴 본 것처럼 항만포장은 일반적인 도로와는 다른 기능과 목적을 가지고 설계 및 운영되고 있으며 이를 합리적으로 관리하기 위해서는 지속적인 이력관리를 수행하는 등 파손의 진행성 여부를 명확히 파악하는 방법과 항만포장의 특징을 고려하여 파손을 평가하기 위한 방법에 대한 기준을 마련하고, 그에 대한 적절한 관리수준을 설정하여 경제적이고 과학적인 유지관리가 가능하도록 체계를 확립하는 것이 필요하다.