



PSC박스거더교 긴장재 유지관리를 위한 리스크매트릭스 평가 기법(적용 예)

2016. 7.15

유니콘스(주) 조중연

- 목 차 -

1. 적용 예, 과업 개요
2. 요구 보호등급(PI) 평가
3. Check List와 Risk Matrix 활용 유지관리 방안
4. Risk Matrix 평가 및 분석 사례

1. 과업의 개요

과업명	<ul style="list-style-type: none"> PSC박스거더교 유지관리방안 수립 용역(공통 및 개별 유지관리매뉴얼 작성) 	
과업기간	<ul style="list-style-type: none"> 2014년 12월 1일 ~ 2015년 12월 25일(착수일로 부터 390일) 	
과업범위	내용적	<ul style="list-style-type: none"> 일반교량에 비해 구조적으로 복잡한 PSC박스거더교의 특성을 고려, 실무 적용 유지관리 매뉴얼을 작성함으로써 장기적 안전성 및 내구성 확보 도모
	공간적	<ul style="list-style-type: none"> 서울시 관내 PSC박스거더교 14개소 <ul style="list-style-type: none"> 한강 횡단교량 4개소 : 올림픽대교, 원효대교, 서강대교, 행주대교 자동차전용도로 7개소 : 두모교, 서호교, 노량교, 청담2교, 정릉천고가, 홍제천고가, 복정고가 일반 교량(양재천 횡단) 3개소 : 영동 1교, 영동 2교, 영동 5교

과업의 목적	기대 효과
<ul style="list-style-type: none"> 서울시 관내 PSC박스거더교의 장기적인 안전성 및 내구성 확보를 위한 교량유지 관리 선진화 방안의 일환으로서 PSC박스 거더교의 유지관리매뉴얼을 작성 	<ul style="list-style-type: none"> 국내·외 선진 유지관리시스템의 사례조사 및 동향분석을 통해 서울시 매뉴얼 개선 PSC박스교 유지관리시스템의 체계적 정립 유지관리 성능향상 방안(건설기준 개선 등)

2. 개요

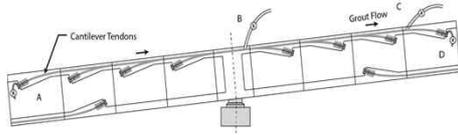
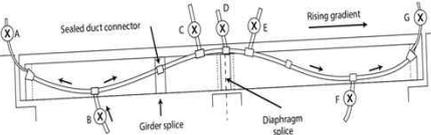
위치도

홍제천고가교 PSM-FCM 1999년 L=6,978 (6,207)m	두모교-외부간장교 PSM-SBS, 일부 FSM 95년(하행), 97년(상행) L=8,298 (7,790)m	정릉천고가교 PSM-FCM, MSS 1999년 L=5,962 (4,060)m
행주대교 ILM, FCM 1995(하), 2000(상) L=2,920 (2,485)m	서호교-외부간장교 PSM-SBS 1997년 L=4,850 (3,300)m	올림픽대교 PSC 사장교, MSS 등 1990년 L=1,710 (1,610)m
서강대교 ILM, FSM 1999년 L=1,760 (1,040)m	노량교 MSS 1987(구교), 93년(신교) L=4,133 (2,700)m	청담2교 FSM 1985년 L=500 m
원효대교 FCM + Dywidag 1981년 L=2,064 (1,120)m	영동1교 2층 FSM 1984년 L=140 m	영동5교 2층, FSM 1986년 L=152 (105)m
영동2교 2층, FSM 1985년 L=147 (100)m	복정고가교 FSM 1994년 L=550 m	

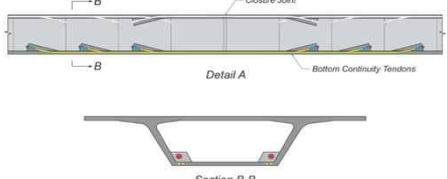
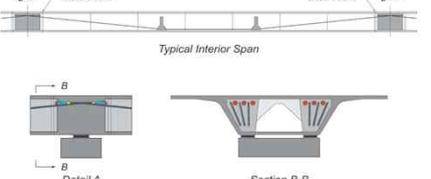
시 설 명	위 치
올림픽대교	한강 횡단 교량 (4)
원효대교	
행주대교	
서강대교	
두모교	강변북로상 교량(2)
서호교	: 외부간장교
정릉천고가교	내부순환로 상 교량(2)
홍제천고가교	
노량교	올림픽대로상 교량(2)
청담2교	분당~수서 고속 교량(1)
복정고가교	
영동1교	강남대로 양재천 횡단
영동2교	논현로
영동5교	삼성로 (3)

※ L= 총연장 (PSC박스거더교 연장) m

3.1 텐던의 배치 특성에 따른 분류(현장타설)

텐던의 배치 특성을 고려한 현장타설 방식의 텐던 분류		
주요 공법	상·하부 슬래브에 수평텐던 설치	복부(Web)에 포물선 형태 수직텐던 설치
	FCM, ILM의 1차 텐던 등	FSM, MSS, ILM의 2차 텐던 등
강선 위치 및 긴장 방법	내부긴장(Internal)방식	내부긴장(Internal)방식
	 <p>텐던 고저차(H)가 적어 그라우트 주입 오류 적음</p>	 <p>고저차(H)가 커 그라우트 재료 및 주입공법 중요</p>
가설 방법	<ul style="list-style-type: none"> • FCM(Free Cantilever Method) <ul style="list-style-type: none"> - 교각(주두부) 양쪽으로 한 블록씩 콘크리트 타설 혹은 PC세그먼트를 연결하며 단계별 가설 함 특히 경간 중앙에 힌지가 있는 경우를 Dywidag공법이라 하나 취약부인 힌지부 연속화 완료.(원효대교) • 고정 지보공법(FSM, Full Staging Method) - 거푸집 하부 등바리 혹은 벤트 등 지보 설치로 가설 • 이동식 지보공법(MSS, Moveable Scaffolding System) - 이동식 지보에 의한 분할 가설 공법 • 추진공법(ILM, Incremental Launching Method) - 압출 Nose 및 추진잭에 의한 밀어내기 가설 특히 가설 고정하중용 1차 텐던과 거치 이후 활하중 등의 추가하중용 2차 텐던으로 구분 	

3.2 텐던의 배치 특성에 따른 분류(프리캐스트)

PSM공법을 적용한 PSC박스거더교의 일반적인 분류(Segment 교량)		
주요 공법	Precast FCM (정릉천고가, 흥제천고가)	Precast SBS (두모교, 서호교)
	켄틸레버 공법, Balanced Free Cantilever	경간진행공법, Span by Span
강선 위치 및 긴장 방법	내부긴장(Internal)방식	외부긴장(External) 방식
	 <p>상하부에 텐던 설치로 그라우트 주입 오류 적음</p>	 <p>텐던 고저차 크고 HDPE Pipe 사용, 주입오류 큼</p>
가설 방법	<ul style="list-style-type: none"> • PSM(Precast Segmental Method) <ul style="list-style-type: none"> - 제작장에서 분할 제작된 다수 세그먼트를 연결하며 가설하는 광역 의미의 프리캐스트 공법 • PFCM(Precast Free Cantilever Method) : SBS에 비해 강연선, 그라우트, 공사기간 많이 소요 <ul style="list-style-type: none"> - 현장타설 FCM 방식과 유사하게 제작된 세그먼트를 주두부에서 부터 양방향으로 연결해 나감 • SBS-PSM(Span By Span PSM) : 텐던의 재료 적게 사용되고 공사기간이 짧음 <ul style="list-style-type: none"> - 제작된 세그먼트를 나열 혹은 강봉으로 간이 연결 후 1경간씩 외부 긴장재를 긴장해서 가설 • FSLM : 제작장에서 경간단위로 일체 제작 후 이동 설치 	

4. 텐던의 그라우트 충전결함

덕트 내부의 그라우트 충전결함(Voids) 발생 유형

비 고	완전 충전 (No Voids)	부분 충전결함(Partial Voids)		완전 충전결함 (Full Voids)
		PS강재 비노출	PS강재 노출	
유형 사례				
위험도	-	경미한 위험도	위험도 2 순위	위험도 1 순위

충진결함 주요 원인

비 고	주입 시공 오류	기하학적 충전결함(블리딩)	공기주머니(Air Pocket)	물주머니(Water Pocket)
발생 위치	• 주로 정착구 앵커부근 또는 주입 중 덕트파손 부	• 정착부, 연속교의 내부교각부 (수직교차차 기준의 상단부)	• 수직경사도 큰 텐던의 내부	• 텐던의 내부 전구간 발생
주요 유형	완전 충전결함	완전 또는 부분 충전결함	부분 충전결함	경미한 기포 형태 결함
원 인	• 정착구까지 충전되지 않은 상태로 주입을 중단한 경우	• 텐던의 상단부에서 블리딩 과 재료의 분리로 발생	• 그라우트 주입 중에 공기가 빠져나가지 못해 갇힌 부분	• 블리딩 혹은 물의 분리로 생긴 물방울로 생성
위험도	비교적 큰 위험도	비교적 큰 위험도	규모, 위치에 따라 위험	경미한 위험도

4.1 충전결함 원인 - 기하학적 충전결함

기하학적 충전결함(1)

블리딩과 금속성 팽창제

블리딩과 재료분리에 의한 충전결함		알루미늄 불활 등 금속성 성분을 포함한 팽창제로 인한 기포발생
시간의 경과에 따른 블리딩 시험사진	수직경사 고려한 블리딩 시험사진	
<p>물의상단높이 블리딩 그라우트상단높이 시간 경과</p>	<p>Poor performance Good performance</p>	
미국 ASTM C940 실린더 시험 개요도	유럽 EN447 경사튜브시험	금속성 팽창제의 기포가 텐던 상단에서 결함 발생
• 국내 그라우트 재료는 체적의 1~6% 가량 블리딩이 발생하고 물이 증발하면서 정착부 또는 최상단에 충전결함 형성(또한 레이턴스 및 재료분리 발생)		• 발생된 기포가 기하학적으로 높은 위치에 있는 정착부 등에 모여 불량 그라우트 생성
검 토	• 기하학적 충전결함을 일으키는 가장 큰 요인은 그라우트의 블리딩과 팽창제 사용에 따른 기포 발생 임 • 블리딩과 팽창제 기포 이외에도 주입된 그라우트의 손실 등 여러 요인에 의해서 발생 가능함	

4.1 충전결함 원인 – 기하학적 충전결함

기하학적 충전결함(2)

구분	기하학적 충전결함(Geometric Voids) 세부사항 분석	
발생 위치	<ul style="list-style-type: none"> 기하학적으로 상단부인 정착부 혹은 연속교에서 부모멘트부 최상단에서 대규모로 발생할 가능성 큼 → 내부간장교량 중 복부(Web)에 포물선 배치된 수직텐던과 외부간장교량의 외부간장재에서 주로 발생 	
주요 원인	<ul style="list-style-type: none"> 기하학적 충전결함의 가장 큰 원인은 블리딩과 금속성 팽창제 사용에 따른 기포의 발생으로 비중이 가벼운 블리딩수와 기포가 기하학적으로 상단부로 모여 대규모 공극 혹은 불량 그라우트를 형성 함 	
기타	재료 누출 부실 주입	<ul style="list-style-type: none"> 덕트의 기밀성이 부족해서 주입된 그라우트의 일부가 손실되는 경우 시급한 공기, 미숙련공에 의한 주입작업 등 최초 주입공사 중 불완전 충진을 실시한 경우
	보호 Cap 미사용	<ul style="list-style-type: none"> 주입/배출관을 나팔관 혹은 앵커리지에 설치하고 그라우트를 주입할 경우 주입관 혹은 배출관 보다 위에 위치한 앵커헤드 부분까지 완벽하게 충전되지 않을 수 있음 → 미국 및 유럽에서는 보호캡을 통한 주입공사와 결과조사 의무화를 규정하고 있음
	포스트 그라우팅 미 실시	<ul style="list-style-type: none"> 국내는 주입결과 조사를 위한 포스트텐션 구성품이 사용되지 않아 재주입 곤란 : 보호 Cap 없이 몰탈로 마감을 실시하므로 조사하기 어렵고 주입관 혹은 배출관을 1개만 설치하므로 재주입 곤란 (재주입을 위해서는 공기 배출구가 필요) 미국 및 유럽은 그라우트 주입 후 3시간 뒤에 주입결과를 조사하고 공극부 재주입 : 포스트그라우팅이 가능한 포스트텐션 구성품과 방법 등을 건설기준화 하고 있음 : 그림과 같이 보호 Cap에 공기 제거용 별도 구멍이 있어 포스트그라우팅이 수월함



4.2 충전결함 원인 – 공기주머니(Air Pocket)

공기주머니에 의한 충전결함(Air Pocket Voids)

저점도(재료적 측면) 그라우트 주입시공 중 부분 충전결함 발생

구분	대규모 공기주머니 발생 개요도	소규모 공기주머니 발생 개요도	발생 시험사례 사진
개요도			
검토	<ul style="list-style-type: none"> 수직경사가 큰 텐던에 저점도 그라우트 주입시 대규모 공기주머니 발생 가능 물/결합재비가 높아 고유동하면서 저점도인 그라우트 재료(국내)를 주입하는 경우 텐던의 수직경사와 주입중의 강연선의 간섭 등 여러 이유로 공기주머니 발생 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 주입중 강연선 간섭 등으로 텐던의 최 저점에서 소규모 공기주머니 흔히 발생 	
검토	<ul style="list-style-type: none"> 물/결합재비가 높은 저점도 그라우트 재료는 주입중 텐던의 수직경사도와 강연선 간섭 등으로 결함 가능 매끈한 HDPE Pipe가 사용되는 외부간장재는 그라우트의 유하속도 변화가 크므로 결함발생 가능성이 큼 		

4.3 충전결함 원인 – 물주머니(Water Pocket)

물주머니에 의한 충전결함(Water Pocket Voids)

블리딩과 심지효과에 의한 부분 충전결함 발생

구분	그라우트 재료의 블리딩과 심지효과 개요	검토
개요도	<p>Bar chart showing Bleeding (%) for A社, b社, and C社. Legend: Non-Strand (blue), Strand (red). KS F 4044 requirement is indicated at 1.5%.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 블리딩으로 발생한 물방울이 모여 작은 물주머니 모양의 충전결함을 형성 : 물 배합량이 많을 수록 큼 • 강연선 주변은 심지효과로 인해서 블리딩이 크게 발생하며 응집된 물주머니가 강연선을 따라 충전결함을 형성
검토	<p>< 소규모 공기주머니 혹은 블리딩에 의한 물주머니에 의한 충전결함 시험사진 ></p>	
검토	<ul style="list-style-type: none"> • 물/결합재비가 높은 저점도 그라우트 재료에서 발생한 블리딩수의 응집 자체로 소규모 충전결함 형성 • 심지효과로 인해 강연선 주변의 블리딩이 더 크게 발생하며 강연선 주변에 응집되어 충전결함을 형성 	

5.1 충전결함 발생 유형 – 기하학적 충전결함

정착부 및 텐던의 최상부에서 충전결함 발생 – 블리딩 등의 주입오류에 의해 주로 발생

구분	완전 충전결함(Full Voids)	부분 충전결함(Partial Voids)
개요도	<p>시멘트 그라우트 미충진 결함(Void)</p> <p>PS강연선 (SWPC 7B)</p> <p>시멘트 그라우트 미충진 결함(Void)</p> <p>강연선 표면부식 (추정)</p> <p>덕트</p>	<p>시멘트 그라우트 미충진 결함(Void)</p> <p>PS강연선 (SWPC 7B)</p> <p>시멘트 그라우트 미충진 결함(Void)</p> <p>일부 경미한 강연선 표면부식</p> <p>잔류 그라우트 (추정)</p> <p>덕트</p>
주요 원인	기하학적 충전결함, 주입공공 오류	기하학적 충전결함(블리딩, 재료 누출)
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 수직경사도가 큰 텐던에서 블리딩과 재료분리가 크게 발생하거나 그라우트 주입오류로 대규모 공극 형성 • 텐던의 기밀성이 부족할 경우에 전체 강연선이 단기간 심각한 부식 위험에 노출될 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 블리딩이 크게 발생하거나 주입된 재료가 누출된 경우 정착부, 내부교각부 등 텐던의 최상단에서 흔히 발생 • 장기적으로 유해물질 침입에 노출된 일부 강연선에서 부식 위험에 노출될 수 있음

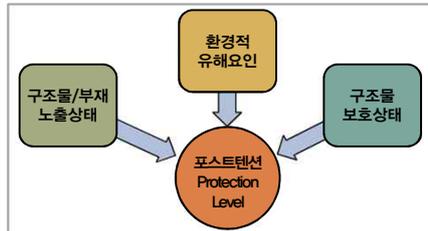
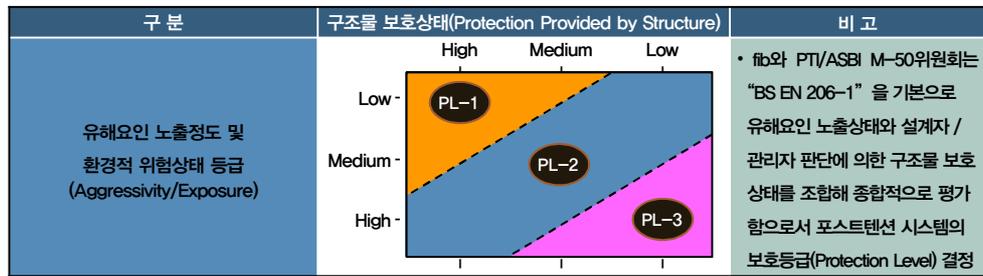
5.2 충전결합 발생 유형 - 부분 충전결합

텐던의 중간 부분 충전결합 발생

구분	PS강재 비노출 - 비교적 작은 위험도	PS강재 노출 - 비교적 큰 위험도
개요도		
발생가능구간	<ul style="list-style-type: none"> • 복부(Web)에 수직배치된 내부긴장재 부모멘트 구간 • 상부슬래브에 수평배치된 내부긴장재 ※ PS강재 노출될 가능성이 비교적 작다는 의미임 	<ul style="list-style-type: none"> • 복부(Web)에 수직배치된 내부긴장재 정모멘트 구간 • 하부슬래브에 수평배치된 내부긴장재 • 외부긴장재의 Deviator 및 수평배치 전 구간
검토	<ul style="list-style-type: none"> • 일정 규모 이상 공극이 발생하지 않으면 덕트 하부의 PS강재가 공기 중에 노출되지 않아 부식위험 작음 	<ul style="list-style-type: none"> • 작은 공극에도 덕트 상부의 PS강재가 공기 중에 노출되므로 장기적으로 유해요인 침입에 따른 부식위험 큼

6.1 대상교량 요구 보호등급(Protection Level) 평가

- 개요**
- 동결융해/제빙화학제 등에 노출된 관내 PSC박스거더교는 대체로 PL-1~2 등급의 보호시스템이 요구됨
 - 대상 교량의 요구 보호등급(PLreq)과 설치 보호등급(PLuse)의 비교를 통해 중점 관리항목 도출방법 제시



구분	노출 정도 및 환경적 위험상태 등급 (Aggressivity / Exposure)	구조물 보호상태 등급 (Protection Provided by Structure)		
		High	Medium	Low
	Low	PL-1	PL-1	PL-2
	Medium	PL-1	PL-2	PL-3
	High	PL-2	PL-3	PL-3

6.2 요구 보호등급(PL) 분석 현황

서울시 주요 PSC거더교 세부 현황

#	시 설 명	준공년도	대표공법	병렬 (n)	대표구간 교량구성 (L = a+b... , m)	교폭 (Bi ,m)	형고 (H ,m)	신축이음 (N, L/N=m/ea)	교량 하부	안전 등급	비고
1	두모교	1995(하행) 1997(상행)	PSM-SBS	2열	(하) 3,200 = 7@50(8EA)+6@50~2@50 (상) 3,650=7@50(5EA)+6@50(6EA)~2@50	17.4 (편 4차로)	3.0	12 14	263.7	한강	B
2	서호교	1997년	PSM-SBS	1열	3,300=5@50(3EA)+6@50(6EA)+7@50(3EA)	18.4 (편 4차로)	3.0	13	253.8	한강	B
3	홍제천교가	1999년	PSM-FCM	2열	6,978 = 8C(3EA)+10C(5EA)+7C+4C+5C+8C+5C ~ 5C+7C+3C~7C+3C [*C는 대체로 50m]	13.0 (편 3차로)	3.0	21	332.3	홍제천변	B
4	정릉천교가	1999년	PSM-FCM	2열	1,800 = 7@50(2EA) ~ 7@50(2EA) + 8@50	13.0 (편 3차로)	3.0	7	257.1	정릉천변	B
5	서강대교	1999년	ILM	2열	960 = 16@60	14.5 (편 3차로)	4.0	2	480.0	한강	B
6	행주대교	1995(하류) 2000(상류)	ILM	2열	(하) 1,025 = 10@60+5 ~ 7@60 (상) 1,140 = 12@60 ~ 7@60	14.5 (편 3차로)	4.5	4 4	270.6	한강	B
7	노량교	1987(구교) 1993(신교)	MSS	2열	1,350 = 10@50+10@50+7@50	10.8 (편 3차로)	2.95	4	337.5	한강	B
8	올림픽대교	1990년	MSS	2열	650 = 6@50+7@50	15.0 (편 3차로)	2.95	3	216.7	한강	B
9	영동1교	1984년	FSM	2열	140 = 30+2@40+30	25.0 (편 5차로)	20~25	2	70.0	양재천	B (2중)
10	영동2교	1985년	FSM	2열	100 = 30+40+30	15.0 (편 3차로)	24~34	2	50.0	양재천	B (2중)
11	영동5교	1986년	FSM	2열	105 = 30+45+30	17.5 (편 3차로)	20~25	2	52.5	양재천	B (2중)
12	청담2교	1985년	FSM	1열	500 = (40+60+40)+(12@30)	17.5 (편 4차로)	22~40	3	166.7	탄천	B
13	복정교가	1994년	FSM	2열	550=(3@40)+(2@35+6@40+2@35)	14.15 (편 3차로)	2.4	3	183.3	복정교차로	B
14	원효대교	1981년	FCM	1열	1,120=60+10@100+60	20.0 (왕 4차로)	21~60	12	93.3	한강	B 1995년 성능개선

6.3 요구 보호등급(PL) 설정을 위한 영향 항목

대상 교량 텐던의 주요 환경적 유해요인 노출정도 검토

구분	노출 등급	환경적 유해요인 노출 조건	외부긴장재 적용	내부긴장재 적용
탄산화 노출위험	Low	XC1 건조	• 내측경간 외부긴장재 (습도가 낮은 경우)	• Multi-Cell의 내부 수직텐던
	Medium-Low	XC3 보통 습도	• 내측경간 외부긴장재 (습도가 비교적 높은 경우)	• 우수노출 없는 상/하부 수평텐던
	Medium	XC4 주기적 습윤/건조	• 외측경간 외부긴장재 (신축이음부에 텐던 정착)	• 일반적인 Web의 수직텐던 • 상부슬래브 횡방향텐던
우수/동결/제빙화학제	Medium	XF1 제빙화학제 없음	• 비와 동결에 노출된 수직 콘크리트 표면	• 신축이음부를 통한 누수가 없는-외측경간 외부긴장재
	High	XF2 제빙화학제 있음	• 동결과 공기 중 제빙화학제에 노출된 수직 표면	• 신축이음부를 통한 누수가 발생-외측경간 외부긴장재
	Medium	XF3 제빙화학제 없음	• 비와 동결에 노출된 수평 콘크리트	-
	High	XF4 제빙화학제 있음	• 제빙화학제에 노출된 교량 바닥판	-

대상 교량 텐던의 주요 보호상태 검토

구분	보호 등급	유해요인 침입에 대한 구조를 보호상태	외부긴장재	내부긴장재
• 방수/보호피막	Medium	제빙화학제 고려 적절한 교면방수와 교면포장이 적용		• 상부슬래브 수평텐던, 횡방향텐던
• 배수시스템	Medium	노면 배수, 물근기 등 외부배수와 내부 침입수 배제시설 적용		• 하부 수평텐던 및 Web 수직텐던
• 신축이음부 누수	High	신축이음 유도배수시설 설치, 텐던정착부가 외부에 노출 안됨		• Multi-Cell 구조의 내부 수직텐던
	Medium	정착부/블록아웃이 외부에 설치(외측경간 정착부 등)	• 외측경간의 외부긴장재	• 외측경간의 내부긴장재
• 세그먼트조인트 (프리캐스트 공법)	High	에폭시접합, Key 등이 적용, 세그먼트 전용 덕트구성품 사용		• 해외의 최근 신설 PSM 교량
	Medium	에폭시접합, Key 등은 적용, 전용 덕트구성품 미사용	• 내/외측 경간의 외부긴장재	• 기존 PSM-FCM 텐던

• 콘크리트 품질(강도 및 재료), 콘크리트 피복(Cover), 균열대책, 시공이음부 보강 등은 Medium 이상 확보

6.4 주요 텐던의 요구 보호등급(PL) 설정

대상교량 주요 텐던의 요구 보호등급(PL req)

외부긴장교량	외측경간 외부긴장재			내측경간 외부긴장재			횡방향 내부긴장재			비고	주요 요구 보호등급(PL-req)		
	노출	보호	PL-req	노출	보호	PL-req	노출	보호	PL-req		외측경간 외부텐던	내측경간 외부텐던	횡방향
1 두모교	M	M	PL-2	L	M	PL-1	M	M	PL-2	Segment	PL-2	PL-1	PL-2
2 서호교	M	M	PL-2	L	M	PL-1	M	M	PL-2	Segment	PL-2	PL-1	PL-2
14 원효대교	-	-	-	L	M	PL-1	-	-	-	성능개선용	-	PL-1	-

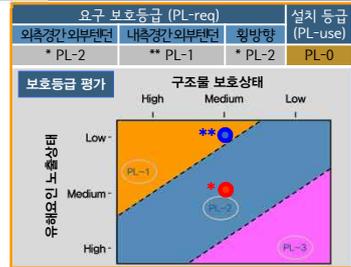
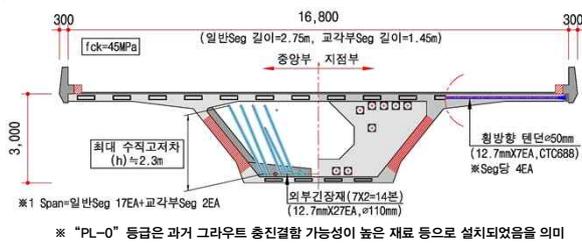
내부긴장교량 (단실 구조)	슬래브 수평텐던			외측 Web 수직텐던			횡방향 긴장재			비고	주요 요구 보호등급(PL-req)		
	노출	보호	PL-req	노출	보호	PL-req	노출	보호	PL-req		슬래브 수평텐던	외측 Web 수직텐던	횡방향
3 홍제천교가	M-L	M	PL-2	-	-	-	-	-	-	Segment	PL-2	-	-
4 정릉천교가	M-L	M	PL-2	-	-	-	-	-	-	Segment	PL-2	-	-
5 서강대교	M-L	M	PL-2	M	M	PL-2	M	M	PL-2		PL-2	PL-2	PL-2
6 행주대교	M-L	M	PL-2	M	M	PL-2	-	-	-		PL-2	PL-2	-
7 노랑교	-	-	-	M	M	PL-2	-	-	-		-	PL-2	-
8 올림픽대교	-	-	-	M	M	PL-2	M	M	PL-2		-	PL-2	PL-2

내부긴장교량 (다실 구조)	외측 Web 수직텐던			내측 Web 수직텐던			횡방향 긴장재			비고	주요 요구 보호등급(PL-req)		
	노출	보호	PL-req	노출	보호	PL-req	노출	보호	PL-req		외측 Web 수직텐던	내측 Web 수직텐던	횡방향
9 영동1교	M	M	PL-2	M	M	PL-2	-	-	-	신축이음 짧은간격 고려 함	PL-2	PL-2	-
10 영동2교	M	M	PL-2	M	M	PL-2	-	-	-		PL-2	PL-2	-
11 영동5교	M	M	PL-2	M	M	PL-2	-	-	-		PL-2	PL-2	-
12 청담2교	M	M	PL-2	L	H	PL-1	-	-	-	내측경간 지배적	PL-2	PL-1	-
13 복정교가	M	M	PL-2	L	H	PL-1	-	-	-		PL-2	PL-1	-

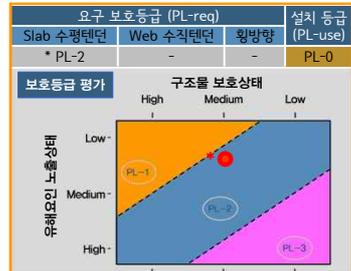
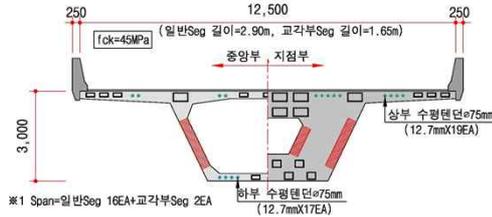
- 검 토**
- fib 및 PTI에서 PSC텐던의 보호등급 평가는 PS강재(강연선)가 그라우트로 충전된 상태를 전제로 함
 - 대상 교량(서울시내)의 환경적 유해요인에 대한 노출정도와 구조물 보호상태가 유사해 대체로 PL-2를 요구함
 - 장기적으로 요구등급을 낮추기 위한 표면도장 등의 신규투자 및 등급 유지를 위한 지속적인 유지관리가 필요

6.5 요구 보호등급(PL)과 설치 등급 비교

두모교 (PSM-SBS, 외부긴장교량)



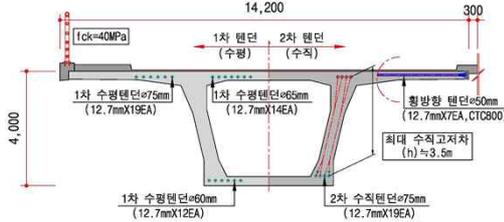
홍제천교가 (PSM-FCM, 내부긴장교량)



- 검 토**
- 국내 대표적 외부긴장교량인 두모교, 서호교는 외측경간(신축이음부) 외부긴장재와 횡방향텐던 집중관리 필요
 - 홍제천교가/정릉천교가 등 FCM교량은 상부/하부슬래브에 수평텐던이 설치되므로 교면방수/포장 중요도 높음
 - 외측경간 노출된 정착부/블록아웃에는 신축이음 통한 노면수 유입을 방지해야하며 블록아웃 주변 표면도장(FDOT 의무사항)

6.5 요구 보호등급(PL)과 설치 등급 비교

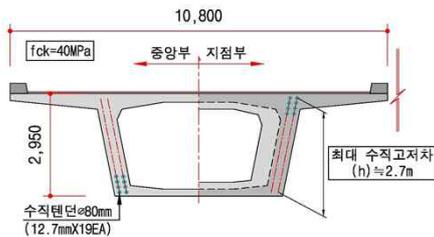
서강대교 (ILM, 내부긴장교량)



요구 보호등급 (PL-req)			설치 등급 (PL-use)
Slab 수평텐던	Web 수직텐던	횡방향	
* PL-2	** PL-2	** PL-2	PL-0

보호등급 평가	구조물 보호상태		
	High	Medium	Low
비상출구 유해요인	PL-1	PL-2	PL-3

노량교 (MSS, 내부긴장교량)



요구 보호등급 (PL-req)			설치 등급 (PL-use)
Slab 수평텐던	Web 수직텐던	횡방향	
-	* PL-2	-	PL-0

보호등급 평가	구조물 보호상태		
	High	Medium	Low
비상출구 유해요인	PL-1	PL-2	PL-3

검 토

- ILM은 슬래브 수평텐던과 Web 수직텐던이 모두 존재하므로 교면방수/포장, 배수, 신축이음 등이 모두 중요
- MSS는 종방향 Web 수직텐던 보호를 위한 물받기 등 배수시스템과 신축이음 처리의 중요성이 비교적 높음

6.6 요구/설치 등급 비교를 통한 유지관리 방안

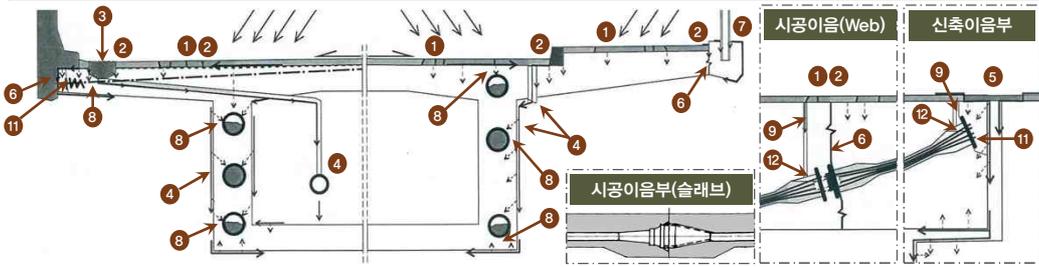
구 분	가설공법별 주요구간	P L (요구/설치)	텐던의 형태별 유지관리 중점사항 검토	공동 유지관리 중점사항		
내부 긴장	상/하부 수평텐던	PSM-FCM 정릉천교가교	PL-2	• 교면방수/포장의 손상부를 통한 유해물질 침입방지 필요 • 포장면 하부 비단판 상부슬래브의 균열 등의 조사 및 보수 곤란 • 신축이음/수축이음부에서 정착부 보호(도로 노면과 근접) • 노면수 등 유입된 빗물의 물받기 등의 외부배수시스템 • 상부 설치 수평텐던과 같이 교면방수/포장/노면배수 중요 • 집수구, 배수관, 가로등 등의 부대시설 접속부 관리 철저 • 횡방향텐던 정착부 시공이음의 노면수와 빗물 침입 차단 • 교량 외부수직면을 통한 유해요인 침입방지 위한 물받기 등의 외부배수시스템의 관리 필요(특히 노면수 유입 차단) • 교량높이가 커 비에 직접 노출되는 경우 표면도장 검토 • 단계별 긴장을 위한 시공이음부(텐던커플러) 중점 관리 • 텐던/정착부가 유해요인(물, 동결융해, 염소이온, 배기가스 등)에 노출될 가능성은 비교적 작으나 교량내부 건조한 상태 유지 • 신축이음간 거리가 긴 대형교량일 경우 유지관리 유리	1. PS강재를 부식으로 부터 보호하기 위한 1~3단계는 공동 집중관리로, 교면방수 및 교면포장 상태조사나, 콘크리트 강도, 탄산화, 염화물 이온 침투조사, 누수상태조사 등 다. 텐던의 피복두께 및 건조성 등라. 텐던의 피복 및 정착블록에서 발생한 균열의 조사 및 복구 마. 텐던 배치 고려 상기 집중 조사 2. 외측경간(신축이음부)의 정착부 및 블록아웃은 외기에 노출되어 유해 요인(물, 동결융해, 염소이온, 배기 가스 등)의 침입방지 위한 중점관리 : 블록아웃 주변 표면도장(FDOT)	
	횡방향 수평텐던	서강대교, 올림픽대교 두모교, 서호교	PL-2 / PL-0			
	Web 수직텐던	ILM 2차	서강대교 행주대교			PL-2 / PL-0
		MSS	노량교 올림픽대교			PL-2 / PL-0
	내측Web 수직텐던	FSM	영동1교 외 4개교			PL-0
외부 긴장	외측경간 외부텐던	FSM (다실구조)	PL-1 / PL-0	3. 외부긴장재는 PS강재의 부식보호 1~3단계가 생략되므로 위험도 높음 4. 특히 신축이음부 외측경간의 정착부/블록아웃이 외기에 노출되므로 주의가 필요 함		
	내측경간 외부텐던	PSM-SSS	두모교 서호교		PL-2 / PL-0	
	성능개선 수평텐던	Dywidag 처짐 보강	원효대교		PL-1 / PL-1	

검 토

- 대상교량 가설공법별 텐던의 배치특성과 PSC보호등급 등을 고려해서 평시 유지관리 중점 사항 검토 및 제시

7.2 단계별 유지관리 Check List 검토

구분	PS강재의 부식 보호단계				
	PS강재 간접적 보호단계 (텐던 외부)			PS강재 직접적 보호단계 (텐던 내부)	
점검부	1 단계-콘크리트 표면	2 단계-콘크리트 재료	3 단계-피복(덮개)	4 단계-덕트(취스관)	5 단계-그라우트
	정밀안전진단	○	○	○	○
정밀점검	○	○	○	△ (외부긴장재는 가능)	△ (외부긴장재는 가능)
일상점검	○	△ (시공이음 등 외관 점검)	△ (균열 등 외관 점검)		



구분	텐던 외부 요인(Check List)	텐던 내부 요인(Check List)
PS강재의 부식유발 주요 요인	① 노면 표장층의 균열/파손 결합 ② 교면방수 미설치/손상(부대시설 접속부 포함) ③ 집수구 및 노면배수 불량(제수 발생) ④ 배수시스템 불량(배수관, 배수구, 물끈기 등)	⑤ 신축이음부 누수 ⑥ 시공이음 및 부재이음부 균열/누수 ⑦ 부대시설 삽입 접속부 ⑧ 콘크리트 덮개 결함(품질, 두께 부족) ⑨ 그라우트 주입/배출구 부분 충전결합 ⑩ 부식 및 기계적 파손에 의한 덕트 손상 ⑪ 블록아웃 메움 콘크리트의 균열 및 공극 ⑫ 텐던의 높은 지점과 낮은 지점의 충전결합

7.3 Risk Matrix의 상위지표 구성 및 평가

개요

- 결합 지수 확률(P) 부분은 4개 상위지표에 대해서 개별 25개의 총 하위지표와 가중치로 구성
- 손상 위험 규모(C) 부분은 4개 평가지표에 대한 가중치로 구성

● 결합 지수 확률(P)에 대한 상위지표 구성 및 평가

구분	상위지표 항목	결합 지수 확률(P)의 주요 평가 내용	가중치(%)	평가 수준	하위지표
1	유해환경 노출 위험 상태	• 텐던 및 텐던을 보호하고 콘크리트 등의 위해 환경 노출 위험 상태 평가 (탄산화/중성화, 우수/동결/응해 및 제빙화학적 등에 대한 노출 위험)	8	긴장재별	2개
2	구조물 보호 상태(텐던 외부)	• 텐던 외부 콘크리트(덮개, 정착부 등)의 품질/피복두께/균열 및 콘크리트 표면의 방수, 보호피막, 배수시스템, 신축이음 누수 등의 보호상태 평가	52	긴장재별	13개
3	구조물 보호 상태(텐던 내부)	• 텐던 내부 덕트의 부식 및 기계적 손상, 블록아웃 메움 상태, 그라우트 충전결합, 그라우트의 건전성 등에 대한 보호상태를 평가하기 위한 항목	36	긴장재별	9개
4	교량의 공용년수/수명	• 교량의 공용년수 경과에 따른 내구수명을 고려하기 위한 평가 항목	4	교량 전체	1개

● 손상 위험 규모(C)에 대한 상위지표 구성 및 평가

구분	상위지표 항목	손상 위험 규모(C)의 주요 평가 내용	가중치(%)	평가 수준	하위지표
1	긴장재 복구비용/난이도 규모	• 개별 긴장재의 기능상실을 고려한 복구비용 및 보강 난이도 규모 평가	30	긴장재별	1개
2	가설공법별 긴장재 배치 영향	• 가설공법별 긴장재 배치 특성을 고려한 개별 긴장재 영향 규모 평가	30	긴장재별	1개
3	교량의 유지관리 규모비	• 교량 연장 대비 신축이음 개소수의 비를 통해 긴장재별 유지관리 규모 평가(유지관리 규모비 = 교량연장 / 신축이음 개소수)	30	긴장재별	1개
4	개별 긴장재의 규모	• 개별 텐던의 PS강연선 사용연장 규모를 평가(덕트 내부 강연선 사용 수를 줄여 작은 규모의 텐던을 여러 가닥 사용하는 것이 유리함 고려)	10	긴장재별	1개

7.4 Risk Matrix의 하위 지표 구성 및 평가

결합 지수 확률(P) 하위 지표 상세 평가

① 유해환경 노출 위험 상태 - 하위 2 개 항목

구 분	위험도	상세 평가 내용	평가지	비고
1. 탄산화 노출 위험 : 가중치 4%	Step5	• 주기적으로 습윤/건조한 외기에 노출된 경우	5	- 외측경간 외부긴장재 중 신축이음부에 정착부 외기 노출
	Step4	• 주기적으로 습윤/건조한 외기에 노출된 경우	4	- 내측경간 외부긴장재 중 습도가 높음(세그먼트 누수 발생) - 일반적으로 복부(Web)에 설치되는 수직텐던 - 상부슬래브 횡방향텐던
	Step3	• 보통습도 외기에 노출된 경우	3	- 우수에 노출되지 않는 상/하부슬래브의 수평텐던
	Step2	• 건조한 환경	2	- 내측경간 외부긴장재 중 습도가 비교적 낮은 경우
	Step1	• 건조한 환경	1	- 다실 구조(Multi-Cell) 박스거더의 내부 벽체 수직텐던
2. 우수/동결/제빙화확제 노출 위험 : 가중치 4%	Step5	• 비/동결/제빙화확제에 직접 노출된 수직면(신축이음부)	5	- 신축이음부를 통한 누수가 발생한 외측경간 외부긴장재
	Step4	• 비/동결/제빙화확제에 직접 노출된 상부슬래브(비단판)	4	- 교면포장/방수 기능을 잃은 상부슬래브 수평텐던, 횡방향텐던
	Step3	• 비/동결/제빙화확제에 노출된 상/하부슬래브	3	- 우수에 노출된 상/하부슬래브 수평텐던, 횡방향 텐던
	Step2	• 비와 동결에 노출된 수직 콘크리트 표면	2	- 신축이음 누수 없는 외측경간 외부긴장재, 복부의 수직텐던
	Step1	• 비와 동결에 노출되지 않는 경우	1	- 내측경간 외부긴장재, 내부 벽체의 수직텐던

- 13 -

7.4 Risk Matrix의 하위 지표 구성 및 평가

② 구조물 보호 상태(텐던 외부) - 하위 13 개 항목

구 분	위험도	구조물 보호 상태(텐던 외부) 상세 평가 내용	평가지	비고
3. 콘크리트 품질 (강도, 재료) : 가중치 4%	Step3	• 콘크리트의 설계강도 미확보	5	텐던의 덮개 콘크리트 및 외부긴장재 정착부 및 블록아웃 등
	Step2	• 일반적인 PSC콘크리트에 적합한 콘크리트 강도를 확보하고 보편적 재료 사용	3	
	Step1	• 콘크리트 강도 확보, 내구성 설계를 통해 염해저항성/내구성이 우수한 시멘트 등의 재료 사용	1	
4. 콘크리트 품질 (탄산화) : 가중치 4%	Step3	• 콘크리트(덮개, 혹은 정착부) 탄산화 중대 - 탄산화 10mm 이상 발생, 잔여깊이 30mm 미만	5	
	Step2	• 콘크리트(덮개, 혹은 정착부) 탄산화 보통 - 탄산화 10mm 이상 발생, 잔여깊이 30mm 이상	3	
	Step1	• 콘크리트(덮개, 혹은 정착부) 탄산화 경미 - 탄산화 10mm 미만 발생, 잔여깊이 30mm 이상	1	
5. 콘크리트 품질 (염화물 함량) : 가중치 4%	Step3	• 염화물이온 침투 중대 - 표면 부터 10mm 깊이의 전염화물량 > 1.2kgf/m ³	5	
	Step2	• 염화물이온 침투 보통 - 표면 부터 10mm 깊이의 전염화물량 ≤ 1.2kgf/m ³	3	
	Step1	• 염화물이온 침투 경미 - 표면 부터 10mm 깊이의 전염화물량 ≤ 0.3kgf/m ³	1	
6. 콘크리트 피복 두께 : 가중치 4%	Step3	• 덕트를 기준으로 콘크리트 피복기준을 미충족	5	
	Step2	• 설계 당시의 덕트를 기준으로 피복기준을 만족	3	
	Step1	• 최근 강화된 피복기준을 모두 만족하는 경우(한계상태설계법)	1	
7. 콘크리트 균열 방지 (설계단계) : 가중치 4%	Step3	• 균열 등급으로 일부 균열 발생을 허용하고, 정착부 부위의 보강대책이 미반영된 경우	5	
	Step2	• 부분균열 등급이 적용되고, 정착부 부위의 보강대책이 마련된 경우	3	
	Step1	• 비균열 설계등급이 적용되고, 균열 발생을 최소화할 수 있는 보강대책이 마련된 경우	1	
8. 콘크리트 균열 /손상 외관조사 : 가중치 4%	Step3	• 콘크리트 덮개에서 다수 균열 및 손상이 발생, 정착부 및 블록아웃부에서 균열이 발생한 경우	5	
	Step2	• 콘크리트 덮개에서 일부 균열 발생, 정착부 및 블록아웃부에서 경미한 균열이 발생한 경우	3	
	Step1	• 콘크리트 덮개에서 경미한 균열 발생, 정착부 및 블록아웃부에서는 균열이 발생하지 않음	1	

* 균열, 탄산화, 염화물 함량 등은 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에서 별도로 규정하고 있으며 본 점검표에서는 텐던 덮개를 주요 대상으로 함.

- 14 -

7.4 Risk Matrix의 하위지표 구성 및 평가

구 분	위험도	구조물 보호 상태(텐던 외부) 상세 평가 내용	평가치	비 고
9. 노면포장 및 방수층의 균열/파손 : 가중치 4%	Step3	• 노면 포장층 및 방수층의 균열/파손 결함이 심각해서 전면 재포장이 필요한 경우	5	
	Step2	• 노면 포장층 및 방수층의 균열/파손 결함이 일부 발생해서 부분 재포장이 필요한 경우	3	
	Step1	• 노면 포장층의 손상이 없어 포장층의 내구성을 확보하고 있는 경우	1	
10. 보호피막 미설치/손상 : 가중치 4%	Step3	• 바닥판 교면방수 가능 미흡 또는 미실시, 외기에 노출된 정착부 포함해 상부구조물 보호피막 미설치	5	
	Step2	• 보차도 바닥판 위주로 교면방수 적용, 외기에 노출된 정착부(신축이음부) 주변 보호피막 미설치	3	
	Step1	• 바닥판 교면방수를 부대시설 접속부까지 치밀하게 실시, 노출된 상부구조물 전체 보호피막 설치	1	
11. 교량 노면배수 적정성 : 가중치 4%	Step3	• 노면 집수구 및 노면 우수배제 기능 이상으로 도로면에 상시 체수가 발생하는 경우	5	
	Step2	• 노면 집수구의 일부가 폐쇄되었으나 전체 우수배제 기능에는 문제 없고 경미한 체수 발생	3	
	Step1	• 노면 집수구의 폐쇄 없고 원활한 노면수의 배제 기능으로 도로면 체수가 발생하지 않음	1	
12. 외부배수 (배수관, 물받기 등) : 가중치 4%	Step3	• 배수관 및 물받기(NOTCH) 등의 외부배수 기능이 미흡해 노면수가 상부구조물 측면/하면으로 유출	5	
	Step2	• 일부 배수관 및 물받기(NOTCH) 등의 오류로 노면수가 상부구조물 측면을 통해 일부 유출	3	
	Step1	• 배수시스템이 적절하게 설치되고 작동해서 상부구조물 내/외부를 최대한 건조하게 유지하는 경우	1	
13. 신축이음 누수 : 가중치 4%	Step3	• 정착부 블록아웃이 외기에 설치되고 신축이음부를 통한 노면수 및 빗물의 유입이 발생한 경우	5	
	Step2	• 정착부 블록아웃이 외기에 설치되었으나 신축이음부를 통한 노면수 유입이 없는 경우	3	
	Step1	• 정착부 블록아웃이 내부에 설치되고 신축이음부를 통한 노면수 유입이 없는 경우	1	
14. 시공이음 손상 /부재이음부 누수 : 가중치 4%	Step3	• 시공이음부 별도 보강 및 방수처리 미비로 누수가 발생한 경우, 세그먼트 접합 오류로 누수 발생	5	
	Step2	• 시공이음부 별도 보강 및 방수처리 미비 또는 세그먼트 접합부 보강 미비하나 누수 발생하지 않음	3	
	Step1	• 시공이음부 별도 보강 및 방수처리 실시 또는 세그먼트 접합부 보강대책 충분히 반영되어 누수 없음	1	
15. 부대시설 삽입 접속부 : 가중치 4%	Step3	• 내부텐던과 인접한 부위에 부대시설의 삽입으로 접속부에 손상이 발생한 경우	5	
	Step2	• 내부텐던과 인접한 부위에 부대시설을 삽입하였으므로 잠재적 손상 위험이 있는 경우	3	
	Step1	• 내부텐던과 인접한 부위에 부대시설의 삽입이 없거나 삽입 접속부의 손상 위험이 없는 경우	1	

7.4 Risk Matrix의 하위지표 구성 및 평가

③ 구조물 보호 상태(텐던 내부) - 하위 9 개 항목

구 분	위험도	구조물 보호 상태(텐던 내부) 상세 평가 내용	평가치	비 고
16. 그라우트의 주입관/배출관 : 가중치 4%	Step3	• 그라우트의 주입을 위한 주입관/배출관 등의 부속물 내부/외부 매움(에폭시 몰탈 등) 오류가 조사됨	5	
	Step2	• 주입관/배출관 등의 부속배관을 일반 염화비닐호스를 사용한 것으로 추정되는 경우	3	
	Step1	• 주입관/배출관 등의 부속배관과 밸브 등에 주름관 재질의 포스트텐션 전용 부속품을 사용한 경우	1	
17. 덕트의 재질 및 전용 구성품 : 가중치 4%	Step3	• 강재덕트와 타이핑 연결을 사용한 경우	5	덕트 재질
	Step2	• 강재덕트와 강재덕트 전용 연결재를 사용한 경우	3	
	Step1	• 플라스틱 덕트 및 전용 덕트커플러를 사용	1	
18. 덕트 기밀성 조사/추정 : 가중치 4%	Step3	• 덕트 및 텐던구성품 부식/기계적 결함 조사됨	5	국내표준
	Step2	• 덕트 및 텐던구성품의 손상을 조사하기 어려움	3	
	Step1	• 덕트 및 텐던구성품의 손상 없이 기밀성 확보	1	
19. 그라우트보호캡의 사용 : 가중치 4%	Step3	• 임시 그라우트 보호캡이 사용되지 않은 경우	5	
	Step2	• 임시 그라우트 보호캡이 사용되어 정착구 앵커헤드 등을 보호할 수 있도록 그라우트가 시공된 경우	3	
	Step1	• 영구 그라우트 보호캡이 사용되고 확인 결과 현재 구조물에서 기능을 수행하고 있는 경우	1	
20. 블록아웃 메움콘크리트 : 가중치 4%	Step3	• 메움콘크리트와 정착구 구성품 간의 공극이 발생하거나 건전성을 확인할 수 없는 경우	5	
	Step2	• 메움콘크리트의 재질을 확인할 수 없으나 건전성에 이상이 없으며 신구콘크리트 접합처리 확인 곤란	3	
	Step1	• 에폭시계 성분을 포함한 블록아웃 메움 콘크리트를 사용하고 신구콘크리트 접합제 등을 반영해서 설치	1	
21. 기하학적 충전 결함 발생 위험도 : 가중치 4%	Step5	• 복부(Web)에 설치된 수직 텐던 또는 외부긴장재의 수직 고저차가 3m 이상인 경우	5	그라우트 완전주입 대책이 반영된 경우 점수상향
	Step4	• 복부(Web)에 설치된 수직 텐던 또는 외부긴장재의 수직 고저차가 1.2m 이상 3m 미만인 경우	4	
	Step3	• 복부(Web)에 설치된 수직 텐던 또는 외부긴장재의 수직 고저차가 1.2m 미만인 경우	3	
	Step2	• 긴장재의 길이가 비교적 긴(약 50m 이상) 상/하부 슬래브의 수평텐던	2	
	Step1	• 긴장재의 길이가 비교적 짧은 상/하부 슬래브의 수평텐던 또는 횡방향텐던	1	

7.4 Risk Matrix의 하위지표 구성 및 평가

구 분	위험도	구조를 보호 상태(텐던 내부) 상세 평가 내용	평가치	비 고
22. 그라우트의 충전결함 조사 : 가중치 4%	Step3	• 대규모 그라우트의 충전결함 조사됨(기하학적 충전결함 또는 부분 충전결함 부위에서 PS강연선 노출)	5	전체 텐던중 표본 조사 결과 동일하게 적용
	Step2	• 기하학적 최상단 등에서 일부의 소규모 충전결함이 조사된 경우(PS강연선의 일부 노출)	3	
	Step1	• 그라우트의 충전결함이 조사되지 않았고 밀실하게 충전되었을 것으로 추정되는 경우	1	
23. 덕트 내부의 그라우트 탄산화 : 가중치 4%	Step3	• 드릴링에 의한 탄산화 조사 결과, PS강재 주변 그라우트 시료의 페놀프탈레인 시약의 변색 범위가 큼	5	
	Step2	• 덕트 내부 공극 주변의 일부 표면에서 채취한 그라우트 시료만 페놀프탈레인 시약에 변색 됨	3	
	Step1	• 덕트 내부의 그라우트 시료가 페놀프탈레인 시약에 변색되지 않고 강한 염기도를 확보하고 있음	1	
24. 덕트 내부의 그라우트 염화물 : 가중치 4%	Step3	• 그라우트 시료의 성분분석 결과 전염화물량 > 1.2 kgf/m ³ 으로 조사된 경우	5	
	Step2	• 그라우트 시료의 성분분석 결과 전염화물량 ≤ 1.2 kgf/m ³ 으로 조사된 경우	3	
	Step1	• 그라우트 시료의 성분분석 결과 전염화물량 ≤ 0.3 kgf/m ³ 으로 조사된 경우	1	

④ 교량의 공용년수/수명

구 분	위험도	상세 평가 내용	평가치	비 고
25. 공용년수 /내구수명 : 가중치4%	Step5	• 공용년수(준공 이후) 50년 이상인 경우	5	최초 정밀안전진단 이후 주기적 점검/진단 대상 교량 (예, 1종 교량인 경우)
	Step4	• 공용년수(준공 이후) 30년 이상이고 50년 미만	4	
	Step3	• 공용년수(준공 이후) 20년 이상이고 30년 미만	3	
	Step2	• 공용년수(준공 이후) 10년 이상이고 20년 미만	2	
	Step1	• 공용년수(준공 이후) 10년 미만	1	

- 17 -

7.4 Risk Matrix의 하위지표 구성 및 평가

손상 위험 규모(C) 하위지표 상세 평가

① 개별 긴장재의 복구 비용 / 난이도 규모

구 분	위험단계	상세 평가 내용	평가치	비 고
1. 개별 긴장재의 복구 비용 및 난이도 규모 : 가중치 30%	Step5	• 복부(Web) 종방향 수직긴장재만 주로 적용된 경우(주로 MSS, FSM)의 수직긴장재 평가	5	
	Step4	• 복부(Web) 수직긴장재와 슬래브의 수평긴장재가 병행 설치된 경우(주로 ILM)의 수직긴장재	4	
	Step3	• 상/하슬래브에 설치된 수평긴장재 평가 (ILM, FCM 등)	3	
	Step2	• 외부긴장재를 평가하는 경우	2	
	Step1	• 횡방향 긴장재를 평가하는 경우	1	

② 가설공법 텐던 배치 고려한 영향 규모(개별 긴장재 기능상실의 전체교량 영향 규모)

구 분	위험단계	상세 평가 내용	평가치	비 고
2. 가설공법 텐던 배치 규모 : 가중치 30%	Step5	• 외부긴장재만 적용된 경우 : 주로 Segment 교량 중 PSM-SBS공법의 외부긴장재	5	
	Step4	• 복부(Web)에 종방향 수직긴장재만 주로 적용된 경우(주로 MSS, FSM)의 개별 긴장재 평가	4	
	Step3	• 복부(Web)에 종방향 수직긴장재와 슬래브의 수평긴장재가 병행 설치된 경우(주로 ILM)	3	
	Step2	• 상/하슬래브 수평긴장재만 적용된 경우(FCM)	2	
	Step1	• 횡방향 긴장재가 적용되어 평가하는 경우	1	

- 18 -

7.4 Risk Matrix의 하위 지표 구성 및 평가

③ 교량의 유지관리 규모비(신축이음간의 거리가 짧은 교량의 영향고려)

구 분	위험단계	상세 평가 내용	평가치	비 고
3. 교량 유지관리 규모비 영향 : 가중치 30%	Step3	• 교량 유지관리 규모비(교량연장/신축이음 개소수)가 100m 미만인 경우의 긴장재 평가 • 외측경간 외부긴장재 또는 외측경간 내부긴장재(내측경간 긴장재는 유지관리 규모비로 평가)	5	
	Step2	• 교량 유지관리 규모비(교량연장/신축이음 개소수)가 100m 이상 ~ 200m 미만인 경우의 긴장재	3	
	Step1	• 교량 유지관리 규모비(교량연장/신축이음 개소수)가 200m 이상인 경우 • 횡방향 긴장재를 평가하는 경우	1	

④ 개별 긴장재의 규모(대구경 텐던의 영향 고려)

구 분	위험단계	상세 평가 내용	평가치	비 고
4. 개별 텐던의 사용 규모 : 가중치 10%	Step3	• 개별 텐던의 PS 강연선 사용면적이 2,000mm ² 이상 사용된 경우 (SWPC 7B 12.7mm 21가닥 또는 15.2mm 15가닥 이상이 사용)	5	
	Step2	• 개별텐던의 PS 강연선 사용면적이 1,000mm ² 이상 ~ 2,000mm ² 미만이 사용된 경우 (SWPC 7B 12.7mm 11가닥 또는 15.2mm 8가닥 이상이 사용)	3	
	Step1	• 개별텐던의 PS 강연선 사용면적이 1,000mm ² 미만이 사용된 경우 (SWPC 7B 12.7mm 10가닥 이하 또는 15.2mm 7가닥 이하 사용)	1	

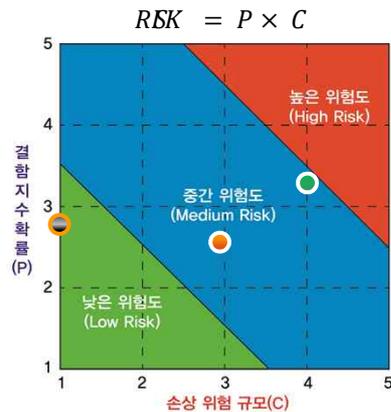
8. Risk Matrix 평가 및 분석 사례

개별 긴장재 평가 사례(두모교)

구 분	결함 지수 확률(P)				
	유해환경 노출위험	보호상태 (외부)	보호상태 (내부)	공용연수/수명	총 합 점 수
외측경간 외부긴장재	5.00	2.85	3.89	3.0	3.28
내측경간 외부긴장재	1.50	2.08	3.89	3.0	2.60
횡방향긴장재	3.50	2.85	2.89	3.0	2.80

표준적인 외측경간 및 내측경간 외부긴장재와 횡방향텐던 평가 사례

구 분	손상 위험 규모(C)				총 합 점 수
	복구비/난이도	가설공법/배치규모	유지관리 규모비	텐던 규모	
외측경간 외부긴장재	2.0	5.0	5.0	5.0	4.10
내측경간 외부긴장재	2.0	5.0	1.0	5.0	2.90
횡방향긴장재	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00



- 가. 외측경간 외부긴장재 = “중간 위험도”
- 나. 내측경간 외부긴장재 = “중간 위험도”
- 다. 횡방향긴장재 = “낮은 위험도”

- 신축이음에 접하고 정착부가 외기에 노출된 외측경간의 외부긴장재가 “중간 위험도” 범주 중 위험도가 비교적 높음
- 외기에 노출된 정착부/블록아웃 주변에 콘크리트 보호피막을 도장하는 등의 예방적 유지관리로 위험도를 낮출 수 있음

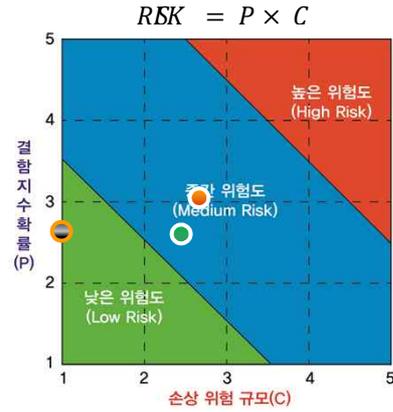
8. Risk Matrix 평가 및 분석 사례

개별 긴장재 평가 사례(서강대교)

구 분	결함 지수 확률(P)				
	유해환경 노출위험	보호상태 (외부)	보호상태 (내부)	공용년수/ 수명	중 합 점 수
상/하슬래브 수평텐던	3.50	2.69	2.89	2.0	2.72
복부(Web) 수직텐던	3.50	3.00	3.44	2.0	3.08
횡방향 긴장재	3.50	2.69	2.78	2.0	2.68

표준적인 상/하 슬래브 수평텐던 및 복부 (Web) 수직텐던과 횡방향텐던 평가 사례

구 분	손상 위험 규모(C)				
	복구비 /난이도	가설공법 /배치규모	유지관리 규모비	텐던 규모	중 합 점 수
상/하슬래브 수평텐던	3.0	3.0	1.0	3.0	2.40
복부(Web) 수직텐던	4.0	3.0	1.0	3.0	2.70
횡방향 긴장재	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00



- 가. 상/하슬래브 수평텐던 = “중간 위험도”
- 나. 복부(Web) 수직텐던 = “중간 위험도”
- 다. 횡방향긴장재 = “낮은 위험도”

- 교면 포장/방수, 외부배수 등이 적정함을 전제로 서강대교 주요 텐던은 “중간 위험도” 범주 중 위험도가 비교적 낮음
- 바닥판에 설치된 수평텐던과 수직텐던 정착부의 위험도 관리를 위해서는 교면 포장/방수, 노면 배수의 건전성 유지가 필요

감사합니다.