

# 리스크 매트릭스를 활용한 PSC박스 거더교의 긴장재 평가

김형조<sup>1</sup> · 지승구<sup>2</sup> · 김훈겸<sup>3</sup> · 김필수<sup>4</sup> · 정지승<sup>5</sup> · 이민재\*

<sup>1</sup>유니콘스(주) · <sup>2</sup>한국시설안전공단 · <sup>3</sup>서울특별시 도로시설과 · <sup>4</sup>성남시청 도시계획과 · <sup>5</sup>동양대학교 건설공학과

## Evaluation of Tension of PSC Box Girder Bridges Using Risk Matrix

Kim, Hyungjo<sup>1</sup>, Ji, Seunggu<sup>2</sup>, Kim, Hunkyom<sup>3</sup>, Kim, Pilsoo<sup>4</sup>, Kim, Hunkyom<sup>5</sup>, Lee, Minjae\*

<sup>1</sup>R&D Division, Unicons Co. Ltd.

<sup>2</sup>Korea Infrastructure Safety Co

<sup>3</sup>Seoul Metropolitan Government Facility Division

<sup>4</sup>Seongnam City Hall Dept, of City Planning

<sup>5</sup>Department of Civil Engineering, Dong-yang University

**Abstract :** In particular, the investigation of tendons in PSC Box Girder Bridge should be done in a systematic way. It is important to identify preventative maintenance activities that should be carried out in order to analyze the risk factors by type of representative tensions and to reduce risks in the long term. However, in the current maintenance system, various methodologies for investigating and repairing tensions have been studied, but it is difficult to investigate precisely tensions. Therefore, to apply the risk assessment for screening of tensions to the domestic PSC Box Bridge, we presented a risk matrix evaluation index that is consistent with the state assessment and maintenance system.

**Keywords :** Risk Matrix, Post-tension, Defect Index Probability, Damage Risk Scale

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

PSC 박스 거더교(이하 PSC 박스교)는 부식에 의해 긴장재 손상이 발생할 경우, 유지보수의 난이도가 높고 구조체에 미치는 영향이 크므로 예방유지보수가 중요한 교량 구성요소이다. 특히, PSC 박스교에서 긴장재에 대한 조사는 체계적인 방법에 의해서 수행되어야 하며 대표 긴장재 유형별로 위험 요인을 분석하고 장기적으로 위험도를 낮출 수 있도록 유지관리 계획이 수행되어야 할 예방적 유지관리 활동을 도출하는 것이 중요하다.

현 유지관리체계에서는 긴장재의 조사 및 보수보강을 위한 다양한 방법론이 연구되어 있다. 하지만 현실적으로 점검진단 시 긴장재를 전수 조사하는 것에는 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 긴장재 선별에 대한 리스크 매트릭스 평가를 국내 PSC 박스교에 적용하기 위해 상태평가 및 유지관리 체계에 맞춘 평가 지표를 제시하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 PSC 박스교 긴장재의 리스크 분석은 리스크 매트릭스 기법을 적용하였다. 리스크 매트릭스(risk matrix)는 전체 혹은 요소 구조에 대해 위험요인을 분석하고 위험요인에 대한 점검항목(check list)을 기반으로 정량적 혹은 정성적으로 위험 발생 규모와 확률에 대해 평가하는 기법이다.

리스크 매트릭스를 구성하는 평가 요소인 결합지수 확률과 손상위험 규모는 과학적이고, 공학적인 근거를 통해 구성하여 정확한 평가가 이루어 질수 있도록 해야 한다.

이 중 결합지수 확률은 긴장재에 대해 결합 발생 가능성을 의미하며, 손상위험 규모는 결합으로 인한 결과의 손상 규모 정도를 의미한다.

결합지수 확률과 손상위험 규모에 대한 평가 지표는 긴장재의 부식을 유발하는 결합 유형과 긴장재 손상에 따른

\* Corresponding author: Min Jae Lee, Department of Civil Engineering, Chungnam National University, professor  
E-mail: lmjcm@cnu.ac.kr  
Received May 30, 2018; revised -  
accepted July 18, 2018

복구 조건을 고려하여 산정하였으며, 가중치의 곱의 형태로 개별 긴장재에 평가 점수를 부여하고, 긴장재 유형별 위험순위를 결정한다. 또한 리스크 매트릭스 기법을 통해 도출된 평가지표를 실제 PSC 박스교에 적용하여 평가기법의 신뢰성을 검증한다.

## 2. 기존 연구 현황

### 2.1 국내외 연구 현황

리스크 매트릭스 기법은 리스크 관리를 위한 평가 기법 중 하나로 많은 건설 사업분야에서 체크리스트를 기반한 평가 기법으로 활용되어지고 있다. 하지만, 이러한 리스크 매트릭스 기법을 PSC박스 긴장재에 직접 적용한 연구는 국내외적으로 사례가 많지 않다. 국외의 경우 미연방도로국(FHWA, 2013)에서 부식에 의한 손상을 평가하기 위해 교량 내부 긴장재에 대한 전수 조사는 불가하므로 손상 중요도 및 유지관리 조치 순위를 산정하기 위한 방법으로 리스크 매트릭스 방법을 적용하였으며, 포스트텐션 덕트를 가지고 있는 PSC 교량에 대한 결함 조사를 통해 위험도가 높은 긴장재 선별을 위해 최초로 리스크 매트릭스 기법을 적용하였다(Fig. 1).

리스크 매트릭스는 결함지수 확률과 결함 발생 규모로 나누어지며, 위험요소 군은 높은 위험도, 중간 위험도, 낮은 위험도로 구분된다.

추가적으로 프랑스 도로관리국(2014)에서는 PSC교량에 대한 리스크 매트릭스 평가를 통해 위험도가 높은 유지관리 교량(약 700개소)을 선별하는 기법을 실무에 적용하였다.

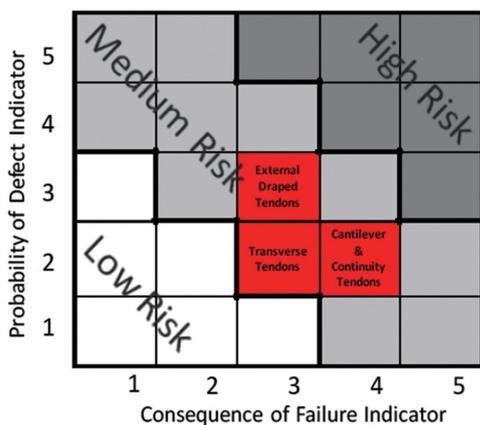


Fig. 1. Graph, risk matrix

국내의 경우 리스크 매트릭스 적용은 특정 변상에 대한 리스크 관리가 아닌 사업 전반에 걸쳐 발생 가능한 위험사건에 대한 리스크 관리이며, 국내 리스크 매트릭스는 설계

시 시공단계의 공종별 위험성에 대하여 발생 가능한 사고 및 재해 특성을 규명하고 빈도 및 결과를 예측함으로써 위험성을 감소시키고 이로 인한 인적, 물적 피해를 줄임으로써 전체적으로 사업비를 절감하는데 목적이 있다.

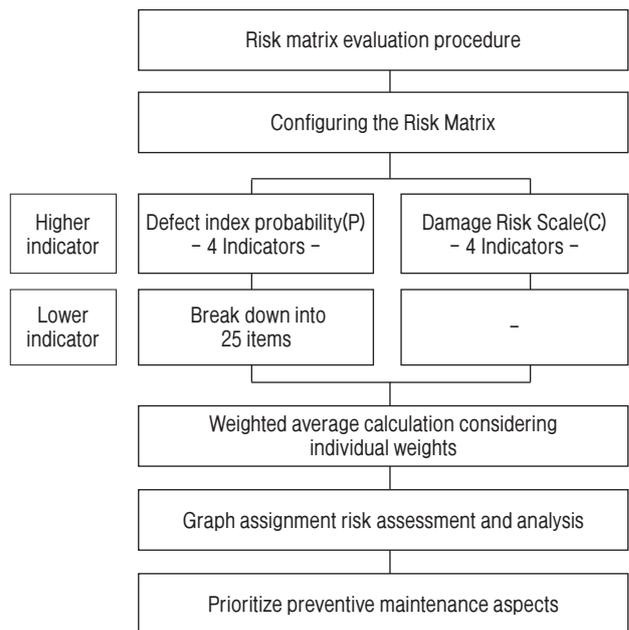
현재 철도 건설사업 관련 한국철도시설공단 및 경기도 등에서 설계위험성 평가에 리스크 매트릭스 기법을 건설단계부터 운영단계 까지 적용하고 있다(Fig. 2).

Risk Level	Damage intensity	Significant risk	Large risk	Acceptable damage	No influence
		4 points	3 points	2 points	1 points
Significant risk	5P	A (20)	A (15)	B (10)	5
Large risk	4P	A (16)	B (12)	C (8)	4
General risk	3P	B (12)	C (9)	C (6)	3
Minor risk	2P	C (8)	C (6)	4	2
No influence	1P	4	3	2	1
Risk rating	Damage intensity × Risk level				
Determine vulnerability rating	A (15 ~ 20 points), B (10 ~ 14 points), C (6 ~ 9 points)				
Determine damage intensity	Determined based on human and material damage caused by a safety accident and surrounding damage level				
Determine Risk Level	Determined based on the level of risk due to the construction scale and construction conditions				
Related grounds	Seolgwanjeol-32-05, Rev.7				

Fig. 2. Design risk review (risk matrix)

또한, 국외 사례를 준용하여 서울특별시 도로시설과(2015)의 “PSC박스 거더교 유지관리방안 수립 용역”연구에서는 기존의 유로코드에서 제시하는 PSC박스 설계시 보호등급과 연계하여 PSC 긴장재 리스크 매트릭스 평가를 최초로 제안하였다(Table 1).

Table 1. Risk matrix evaluation methodology



하지만 국내 기존 연구에서 제시한 평가기법은 PSC 박스교 긴장재를 평가하는 결합지수항목 수가 많고 실무자가 사용하기에는 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 국내외 사례를 바탕으로 유지관리체계와 상태평가 기법에 맞춘 리스크 매트릭스 평가 기법을 제시하고자 한다.

### 3. 리스크 평가 기법

#### 3.1 개요

리스크 분석의 목적은 리스크의 본질과 리스크 수준에 대한 이해를 향상시키기 위한 것이며 리스크 수준 판정, 리스크 처리 필요 여부 및 가장 적합한 리스크 처리 방법은 리스크 분석을 바탕으로 한다. 리스크 분석에서는 리스크 원인, 발생 가능성 및 결과, 발생 가능성 및 결과의 수준에 영향을 미치는 요소를 확인해야 한다.

리스크 수준은 리스크의 발생 가능성과 결과의 조합에 의해 결정되고 분석되며, 리스크의 발생 가능성과 결과를 적절히 조합시키기 위해 사용하는 척도(Scale)와 방법은 리스크의 유형, 이용 가능한 정보 등을 반영하여 리스크 관리의 환경조건 설정단계에서 규정한 리스크 기준과 일치하여야 한다.

리스크 분석은 리스크 유형, 분석 목적, 이용 가능한 정보, 데이터 및 자원에 따라 다양하면서 상세한 수준으로 수행될 수 있다.

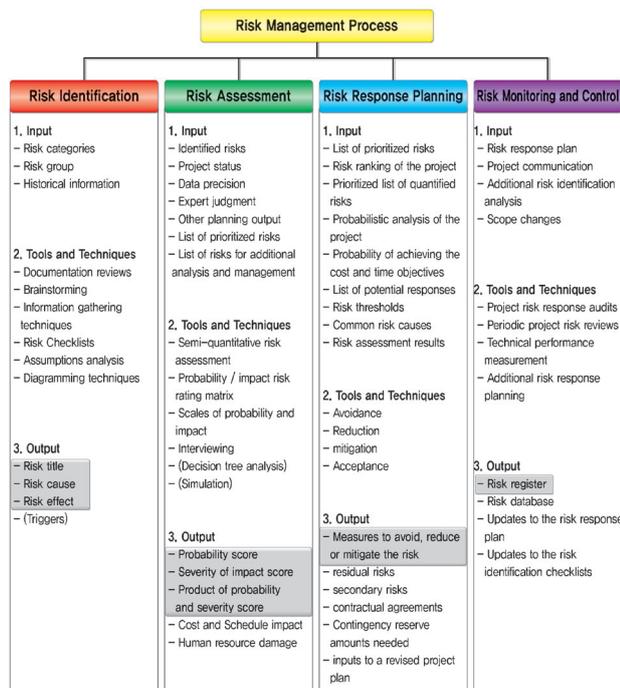


Fig. 3. Risk management procedures

프로젝트의 실정 또는 상황 등에 따라 정성적(qualitative), 반정량적(semi-quantitative), 정량적 방법(quantitative) 또는 이를 조합하여 수행하여야 한다.

〈Fig. 3〉위험도 분석을 위한 리스크 관리 절차는 리스크 인지(risk identification), 리스크 산정(risk assessment), 리스크 대응전략수립(risk response Planning), 리스크 모니터링/조정(risk monitoring and control)의 각 단계를 반복적으로 수행하며, 이전 단계에서 도출된 결과물은 다음 단계의 입력 자료가 되며, 주요 결과는 최종 리스크 레지스터(risk register) 작성을 위한 주요 항목이 된다.

〈Table 2〉는 리스크 관리 절차를 긴장재 평가에 적용하였을 때, 리스크 인지는 긴장재 유형별 결합발생 유형에 대한 조사를 뜻하고, 리스크 산정은 리스크 매트릭스를 통해 개별 긴장재에 대한 발생 확률 및 위험 규모 산정을 의미한다.

또한 리스크 대응 전략은 상태평가 분석 기법 기반 결합 긴장재에 대한 유지보수를 의미하며, 리스크 모니터링/조정은 안전점검/진단 등을 통해 얻어진 자료 기반 리스크가 높은 긴장재를 지속적 관리를 의미한다.

Table 2. Tension risk management system

division	contents
Tendon risk Identification	· Identify the target and cause damage to the Tendon (connected with the Condition Assessment)
Tendon risk evaluation	· Tendon risk matrix evaluation (design and data base on management)
Inspection, Precision safety diagnosis, Maintenance	· Priority select the tendon to be inspected (base on risk matrix evaluation)
monitoring and management	· Priority management tendon re-building (base on risk matrix evaluation)

#### 3.2 리스크 매트릭스 분석 기법

리스크 매트릭스를 긴장재 평가에 적용하였을때 결합 지수 확률과 손상 위험 규모의 곱으로 산정한다.

$$RISK = P \times C \quad (1)$$

P : 결합 지수 확률

C : 손상 위험 규모

리스크 매트릭스 관계식은 복잡한 요소를 고려할 수 없으므로 정량적 분석을 위한 보다 바람직한 관계식은 결합 지수 확률 또는 손상 위험 규모 중 하나의 변수 또는 2개의 변수에 가중치를 적용하는 것으로 한다(Fig. 4).

$$RISK = \sum P_i W_i \times \sum C_i W_i \quad (2)$$

$P_i$  : 결함 지수 확률의 하위지표 평가값

$C_i$  : 손상 위험 규모의 하위지표 평가값

$W_i$  : 가중치 상수

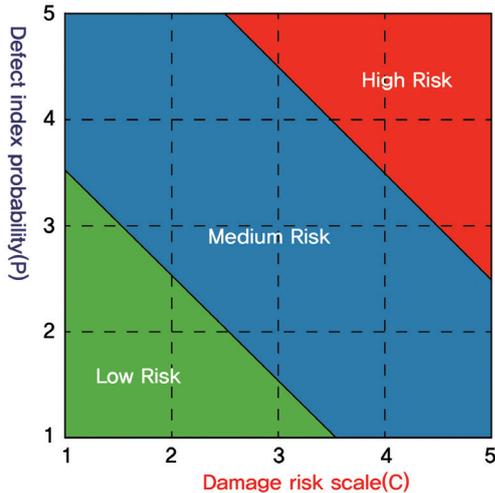


Fig. 4. Graph, risk matrix

#### 4. 리스크 매트릭스 평가 항목

##### 4.1 결함지수 확률

앞서 언급한 리스크 매트릭스 분석 기법의 방법론을 토대로 리스크 매트릭스는 결함지수 확률과 손상위험 규모로 구분하였다.

결함지수 확률은 PSC박스교 긴장재 손상에 영향을 미칠 수 있는 각각의 인자들을 구분하여 영향 요소별로 구별하여 5개 상위지표와 9개의 하위지표로 구성하였다.

5개 상위지표는 긴장재 상태평가(직접적 변상), 긴장재 형상, 부식환경 변화(간접적 변상), 초기설계 및 시공정보, 공용수명으로 구분 하였다.

9개의 하위지표는 긴장재 상태평가와 관련된 직접적 변상에서 4가지, 부식환경의 변화(간접적 변상)에서 5가지로 구분하였다.

긴장재 상태평가와 관련된 직접적 변상은 그라우트, 긴장재 손상, PE관 손상, 덕트이며 부식환경 변화에 대한 하위지표는 탄산화 노출위험, 콘크리트 균열/손상 외관조사, 노면포장 및 방수층의 균열/파손, 신축이음 누수, 시공이음 손상/부재 이음부 누수로 구분하였으며 위험도에 따라 1~5점 척도로 점수를 부여하였다.

각각의 결함 지수 확률 상위지표 및 하위지표는 <Table 3>과 같다.

Table 3. Classification of defect index probability

Higher indicatoe	Lower indicatoe	Risk
Tendon Condition Assessment (direct damage)	Grout	Step1~5
	Tendon damage	
	PE Pipe damage(exterior)	
	Duct(duct tightness inspection)	
Tendon shape	-	
Corrosion environment change (Indirect damage)	Carbonation exposure risk	
	concrete crack/damage inspection	
	pavement and Waterproof Layers crack/failure	
	Expansion joint water leak	
Construction joint damage/member joint water leak		
Initial desing and Construction information	-	
Common life	-	

<Table 4>는 결함지수 산정을 위한 필요자료로 각 항목별 적용 횟수와 적용자료를 나타내었으며, 점검진단시 활용한다.

긴장재 상태평가(직접적 변상)과 부식환경 변화(간접적 변상), 공용 수명은 점검진단 시 분석을 실시하며 긴장재 형상과 초기 설계 및 시공정보는 최초 1회 준공보고서 또는 설계도면을 활용하여 분석한다.

Table 4. Data for calculating the defect index probability

	Higher indicate	Application number	Application data
1	Tendon Condition Assessment (direct damage)	when Ispection/Precision safety diagnosis	Ispection/Precision safety diagnosis reports
2	Tendon shape	first time	design drawing
3	Corrosion environment change (Indirect damage)	when Ispection/Precision safety diagnosis	Ispection/Precision safety diagnosis reports
4	Initial desing and Construction information	first time	completion report, design drawing
5	Common life	when analyzing	Elapsed years since completion

##### 4.2 손상위험 규모

<Table 5>는 손상위험 규모로 PSC박스교의 긴장재 손상이 가져오는 결과를 4개의 상위 지표로 구성하였다.

손상위험 규모는 4개 상위지표로 개별 긴장재의 복구 비용 및 난이도 규모, 가설 공법별 긴장재 배치 영향, 교량 유지관리 규모비, 개별 긴장재 규모로 구분 하였으며 위험도에 따라 1~5점 척도로 점수를 부여한다.

Table 5. Classification of damage risk scale

Higher indicatoe	Risk
Recovery cost and difficulty of individual tension	Step1~5
Tendon arrangement influence of costruction method	
Bridge maintenance scale ratio	
Scale of individual tensions	

〈Table 6〉는 손상위험 규모 산정을 위한 필요자료로 적용횟수 및 적용자료를 나타내었다.

긴장재 복구비용/난이도 규모, 가설공법별 긴장재 배치 영향, 교량의 유지관리 규모비, 개별 긴장재의 규모는 설계 도면과 준공보고서를 이용하여 최초 1회 분석된 자료를 활용한다.

Table 6. Data for calculating the damage risk scale

Higher indicate		Application number	Application data
1	Tension restoration cost / difficulty scale	First time	completion report, design drawing
2	Tendon arrangement influence of costruction method	First time	
3	Bridge maintenance scale ratio	First time	
4	Scale of individual tensions	First time	

### 4.3 가중치 산정

결함지수 확률과 손상위험규모의 가중치는 해당 구조물의 환경적, 시간적, 위험요인적 특성에 따라 상이하게 적용될 수 있는 항목이므로 표준화하여 제시하기는 어려움이 있어, 본 기법 적용 대상 교량에 가중치 산정과정을 제시하고, 이와 유사한 방법으로 구조물 평가시 적용하고자 한다.

FHWA (2013), “Guidelines for Sampling, Assessing, and Restoring Defective Grout in Prestressed Concrete Bridge Post-Tensioning Ducts”의 결함지수 확률 4개, 결함 발생 규모 3개에 대한 가중치를 〈Table 7〉과 〈Table 8〉에 가중치를 나타내었다.

Table 7. Weighs for probability of foreign case defect index

Division	Defect index probability item	Weight
1	Overall bridge condition and performance	15%
2	Bridging construction and inspection diagnosis data	15%
3	Assessment of state by visual inspection (Whether grouting leakage, manufacturing condition, concrete crack, duct condition, gap in duct, leakage, corrosion prevention)	30%
4	Tendon shape and length	40%

Table 8. Overseas case weighting for defect size

Division	Defect index probability item	Weight
1	Overall bridge condition and performance	15%
2	Bridging construction and inspection diagnosis data	15%
3	Assessment of state by visual inspection (Whether grouting leakage, manufacturing condition, concrete crack, duct condition, gap in duct, leakage, corrosion prevention)	30%
4	Tendon shape and length	40%

〈Table 9〉와 〈Table 10〉은 서울특별시 도로시설과 (2015)의 “PSC박스 거더교 유지관리방안 수립 용역”에서 제시한 가중치로 결함지수 확률 상위항목 4개, 손상위험규모 상위항목 4개를 제시하였으며 결함지수 확률의 하위 지표에 4%의 동일한 가중치를 적용하였다.

Table 9. Weights for the probability of defect index in domestic case

Division	Defect index probability item	Lower indicator	Weight
1	Hazardous exposure conditions	2ea	8%
2	Structural Protection (outside the tendon)	13ea	52%
3	Structural Protection (inside the tendon)	9ea	36%
4	Public years / lifetime of bridges	1ea	4%

Table 10. Weights on the damage risk scale in domestic case

Division	Defect index probability item	Weight
1	Tension restoration cost / difficulty scale	30%
2	Tendon arrangement influence of costruction method	30%
3	Bridge maintenance scale ratio	30%
4	Individual tendon scale	10%

따라서 본 연구에서는 기존 국내외 자료 검토 및 전문가 자문을 통해 각 항목별 가중치를 재산정하였으며, 부식으로 인한 손상이 많은 항목에 높은 가중치를 적용하는 것으로 가중치를 결정하였다.

〈Table 11〉은 결함지수 확률에 대한 가중치로 부식에 의한 손상이 높은 그라우트, 긴장재 손상에 대해 12%의 가중치를 적용하였다.

〈Table 12〉는 손상위험 규모에 대한 가중치로 긴장재 복구비용 및 난이도 규모는 30%, 가설공법별 긴장재 배치 영향은 25%, 교량의 유지관리 규모비는 25%, 개별 긴장재의 규모는 20%의 가중치를 적용하였다.

Table 11. Defective index probability weight

Division	Higher indicate	Lower indicate	Weight
1	Tendon Condition Assessment (direct damage)	Grout	12%
		Tendon damage	12%
		PE Pipe damage(exterior)	4%
		Duct (duct tightness inspection)	4%
2	Tendon shape	-	30%
3	Corrosion environment change (Indirect damage)	Carbonation exposure risk	2%
		concrete crack/damage inspection	4%
		pavement and Waterproof Layers crack/failure	4%
		Expansion joint water leak	4%
		Construction joint damage/member joint water leak	4%
4	Initial desing and Construction information	-	10%
5	lifetime	-	10%

Table 12. Damage risk scale weight

division	Defect index probability item	weight
1	Tension restoration cost / difficulty scale	30%
2	Tendon arrangement influence of costruction method	25%
3	Bridge maintenance scale ratio	25%
4	Scale of individual tensions	20%

## 5. PSC박스 거더교 리스크 매트릭스 평가

### 5.1 적용 교량 현황

본 연구를 통해 제안된 PSC박스교의 리스크 매트릭스 평가 방법을 바탕으로 서울시에서 관리하는 교량 중 외부긴장 교량인 OO교를 분석 대상으로 선정하였으며 <Table 13>은 교량 현황을 나타낸 것이며, <Fig. 5>은 표준개요도를 나타내었다.

### 5.2 예시 교량 평가 결과

본 연구에서 정의한 결함지수 확률과 손상위험 규모를 적용하기 위해 기본제원을 정리한 후 결함지수 확률은 정밀안전진단 보고서 상의 상태평가 등급을 활용하고 손상위험규모는 설계도면 및 준공보고서를 통해 각각의 항목별 점수를 1~5점 척도로 정리하였다.

외부긴장 교량인 OO교는 외측경간 외부긴장재, 내측경간 외부긴장재, 외측경간 수평긴장재, 내측경간 수평긴장재, 횡방향긴장재에 대해 하행 P34~P41, 상행 P42~P49, P56~P62까지의 7경간 연속구간에 대해 분석을 하였다.

총 315개 긴장재에 대해 평가를 하였으며 긴장재별 결함지수 확률과 손상위험 규모 점수를 부여하였다.

<Table 14>와 <Table 15>는 315개 긴장재 평균에 대한 결함지수 확률과 손상위험규모에 대한 점수를 나타내었으며,

Table 13. OO bridge status

Division	Contents	
Name	• OO bridge main line	
Design load	• DB-24	
Location	• Yongsan-gu Dongbingo-dong ~ Seongdong-gu Seongsudong	
Completion year	• 1997	
Structural type	Top	• PSC box girder : L=7,790m (PSM: 6,850m, FSM Cast-in-place concrete: 940m) • RC rahmen : L=504 m
	Bottom	• Y type, rahmen, RP type
	Foundation	• Cast-in-place concrete pile(up 75ea, down 64ea) • Well foundation(up 28ea, down 9ea)
Total length	• L=8,298 m (PSC box girder 7,790m, RC rahmen 508m) up : PSC box girder 4,120m = 3x(7@50)+7@50+7@50+6@50+5x(6@50)+5@70+2@60+2@50 RC rahmen 504m =3x(4@25)+3@25+2x(20.75+25+20.75) down: PSC box girder 3,670m=8x(7@50)+6@50+(5@70)+2@60+2@50	
width	• B = 17.4 m, 27.9 m	
Lane	• Round trip 4lane, FSM section widening 4~6lane	
Shoes	• POT, EQS, Elastic	
etc	• PSC box method: PSM-SBS - Exterior Tendon, FSM - Interior Tendon	

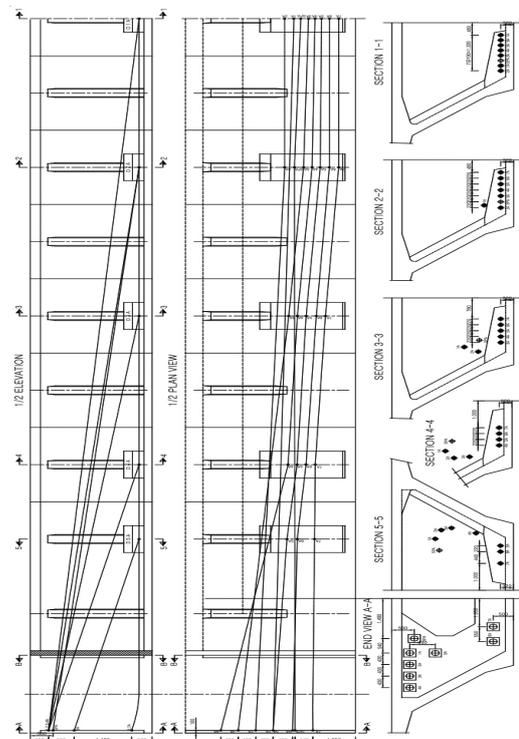


Fig. 5. Standard outline of external Tension arrangement

〈Table 14〉와 〈Table 15〉는 외측경간 외부긴장재, 내측경간 외부긴장재, 외측경간 수평긴장재, 내측경간 수평긴장재, 횡방향 긴장재 순으로 위험도가 높은 것으로 분석되었다.

Table 14. Defect index probability result (tension average)

Defect index probability (P)	Tendon Condition Assessment (direct damage)	Tendon shape	Corrosion environment	Desing and Construction information	lifetime	Total
Outer span External tendon	0.32	1.18	0.35	0.30	0.30	2.45
Inner span External tendon	0.32	1.20	0.36	0.20	0.30	2.38
Lateral direction tendon	0.32	0.30	0.36	0.30	0.30	1.58
Inner span Horizontal tension	0.32	0.60	0.35	0.30	0.30	1.87
Outer span Horizontal tension	0.32	0.60	0.36	0.20	0.30	1.78

Table 15. Damage risk scale result (tension average)

Damage Risk Scale (C)	Recovery cost /difficulty	Construction metohd /arrangement scale	Management scale ratio	Tendon scale	Total
Outer span External tendon	1.48	1.25	1.25	1.00	4.98
Inner span External tendon	1.50	1.25	0.75	1.00	4.50
Lateral direction tendon	0.30	0.25	0.25	0.20	1.00
Inner span Horizontal tension	0.90	1.25	1.25	1.00	4.40
Outer span Horizontal tension	0.90	1.25	0.75	1.00	3.90

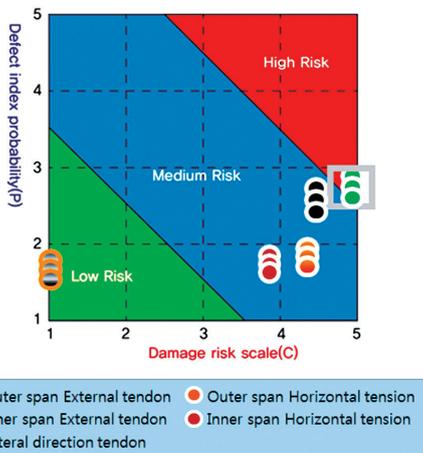


Fig. 6. Risk matrix evaluation results of OO Bridge

〈Fig. 6〉은 315개 긴장재에 대한 1~5점 점수 척도를 리스크 매트릭스 그래프에 표현한 것으로 외측경간 외부긴장재가 높은 위험도에 분포되어 있는 것으로 분석되었다.

〈Table 16〉과 〈Table 17〉은 P56~P62의 연속되는 구간 중 P61~P63에 대한 개별점수를 통해 유지보수 우선순위를 나타냈으며, 외측경간 외부긴장재가 높은 위험도로 우선조치 대상 긴장재로 분석되었다.

Table 16. Risk matrix score of OO bridge (P61~P62)

Division	Span	Defect index probability	Damage risk scale	Risk assessment total	maintenance Priority
Interior	P61~P62(L)	2.4	4.5	11.0	21
Interior	P61~P62(L)	2.4	4.5	11.0	21
Interior	P61~P62(L)	2.4	4.5	11.0	21
Interior	P61~P62(L)	2.4	4.5	11.0	21
Interior	P61~P62(L)	2.4	4.5	11.0	21
Interior	P61~P62(L)	1.8	3.9	7.2	79
Interior	P61~P62(L)	1.8	3.9	7.2	79
Interior	P61~P62(R)	2.4	4.5	11.0	21
Interior	P61~P62(R)	2.4	4.5	11.0	21
Interior	P61~P62(R)	2.4	4.5	11.0	21
Interior	P61~P62(R)	2.4	4.5	11.0	21
Interior	P61~P62(R)	2.4	4.5	1.0	21
Interior	P61~P62(R)	1.8	3.9	7.2	79
Interior	P61~P62(R)	1.8	3.9	7.2	79

Table 17. Risk matrix score of OO bridge (P62~P63)

Division	Span	Defect index probability	Damage risk scale	Risk assessment total	maintenance Priority
Exterior	P62~P63(L)	2.54	5.00	12.7	1
Exterior	P62~P63(L)	2.54	5.00	12.7	1
Exterior	P62~P63(L)	2.54	5.00	12.7	1
Exterior	P62~P63(L)	2.54	5.00	12.7	1
Exterior	P62~P63(L)	2.54	5.00	12.7	1
Exterior horizontal	P62~P63(L)	1.94	4.40	8.5	211
Exterior horizontal	P62~P63(R)	1.94	4.40	8.5	211
Exterior	P62~P63(R)	2.54	5.00	12.7	1
Exterior	P62~P63(R)	2.54	5.00	12.7	1
Exterior	P62~P63(R)	2.54	5.00	12.7	1
Exterior	P62~P63(R)	2.54	5.00	12.7	1
Exterior horizontal	P62~P63(R)	1.94	4.40	8.5	211
Exterior horizontal	P62~P63(R)	1.94	4.40	8.5	211
Bending direction	P62~P63	1.64	1.00	1.6	295

## 6. 결론

교량의 점검진단 시 긴장재 전수조사를 하기에 어려움이 있으므로, 본 연구에서는 기존 준공보고서 및 도면과 점검진단보고서 등을 활용한 리스크 매트릭스 분석을 실시하여 위험 긴장재를 선별하기 위한 방법론을 제안하였다.

결합지수 확률과 손상위험 규모 항목을 선정하기 위해 국내외 문헌고찰과 전문가 자문을 통해 국내 실정을 고려한 결합지수 확률과 손상위험 규모의 항목 및 가중치를 산정하였다.

또한 결합지수 확률과 손상위험규모 항목 및 가중치의 적절성을 검증하기 위해 국내 PSC박스교 중 외부긴장교량인 서울소재의 00교의 연속되는 경간을 선정하여 위험 긴장재를 확인하는 사례분석을 수행하였다.

00교의 분석결과 외측경간 외부긴장재가 높은 위험군으로 분석되었으며, 교량의 점검진단 시 우선 점검을 통해 위험여부를 판단할수 있다.

본 연구에서는 리스크 매트릭스를 활용한 PSC박스교의 긴장재 평가 방법론을 제시하였으며, 제시된 결합지수 확률과 손상위험 규모는 점검진단 전 위험 긴장재를 미리 파악하고 위험 긴장재 우선 점검을 통해 지속적인 긴장재 정보를 갱신을 행한다면 긴장재 평가를 위한 지원도구로서 활용이 가능할거라고 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2018년 건설기술연구사업의 ‘도심지 소단면(Ø 3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발(18SCIP-B105148-04)’ 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

## References

- Seoul Metropolitan Government Road Facilities Division (2015). "PSC box girder bridge maintenance plan establishment service."
- FHWA (2013). "Guidelines for Sampling, Assessing, and Restoring Defective Grout in Prestressed Concrete Bridge Post-Tensioning Ducts."
- FHWA (2013) "Recommendations for Assessing and Managing Long-Term Performance of Post-Tensioned Bridges having Tendons Installed with Grout Containing Elevated Levels of Chloride."
- CEREMA1 (2014). "RISK ANALYSIS OF VULNERABLE BRIDGES ON THE NATIONAL ROAD NETWORK IN FRANCE," Division for Transportation Infrastructure and Materials, Technical Centre for Bridge Engineering.
- Seoul Metropolitan City Safety Headquarters Road Facilities Division (2017). "PSC box girder bridge safety check manual."
- ISO (2009). ISO 31000 : Risk Management.
- He, Zhi (1995). "Risk management for overseas construction project," *International Journal of Project Management*, 13(4), pp. 231-237.
- He, Zhi (1995). "Risk management for overseas construction project," *International Journal of Project Management*, 13(4), pp. 231-237.
- Korea Occupational Safety and Health Agency (2010). "Guidance on how to analyze risks."
- ASBI T-9 Committee (2014). "Grouted Post-Tensioning - State of the Practice (ASBI Presentation)."
- Kim, S. K., Kim, J. S., and Kim, H. J. (2017). "Probabilistic Risk Analysis of PSC Box Bridge Tension Based on Risk Matrix," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, pp. 383-384.

**요약** : PSC 박스교에서 긴장재에 대한 조사는 체계적인 방법에 의해서 수행되어야 한다. 대표 긴장재 유형별로 위험 요인을 분석하고 장기적으로 위험도를 낮출 수 있도록 유지관리 계획이 수행되어야 할 예방적 유지관리 활동을 도출하는 것이 중요하다. 하지만 현 유지관리체계에서는 긴장재의 조사 및 보수보강을 위한 다양한 방법론이 연구되어 지고 있으나, 현실적으로 긴장재를 전수조사하는 것에는 어려움이 있다. 따라서 긴장재 선별에 대한 리스크 평가를 국내 PSC 박스교에 적용하기 위해 상태평가 및 유지관리 체계에 맞춘 리스크 매트릭스 평가 지표를 제시하였다.

**키워드** : 리스크매트릭스, 긴장재, 결합지수 확률, 손상위험규모