

북한지역 교량의 급속 상태안전 점검 체크리스트 개발

이영호

한국건설기술연구원, 남북한인프라특별위원회

Development of Checklist for Rapid Bridge Inspection in North Korea

Young Ho Lee

Korean Peninsula Infrastructure Special Committee,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 본 논문은 북한지역 교량시설물의 상태안전을 신속히 진단할 수 있도록 국내의 기준을 참고하여 주요 평가항목, 등급체계 등을 분석하고, 이를 바탕으로 주요 결함을 육안으로 점검할 수 있는 체크리스트를 개발하였다. 체크리스트는 기본정보를 파악하는 부분과 시설물 상태를 점검 및 평가하는 부분으로 구성하고, 교량 데크, 상부구조, 하부구조의 순서로 점검할 수 있도록 점검 내용과 방법을 제시하였다. 상태평가 결과는 북한지역 시설물의 상태 손상 및 노후화를 고려하여 등급을 세분화하기 보다는 '사용가능', '보수 후 사용가능', '사용불가'로 구분하여 제시하였다. 또한 체크리스트의 적용 타당성을 검증하기 위하여 북한지역의 교량 상태와 유사하다고 생각되는 북한 인접지역의 교량을 테스트베드로 선정하고, 우리나라의 '시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법'에 따른 평가등급 결과와 비교 분석하였다. 그 결과, 북한지역 노후화 교량의 재건 및 확충 시 교량의 사용가능 여부에 초점을 둔 상태안전 점검이 단기간에 가능할 것으로 판단되며, 이를 통해 노후화 교량의 전면 교체에 따른 비용을 절감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract This study analyzed main evaluation items and rating systems to quickly diagnose the condition of bridge facilities in North Korea. A checklist was developed to visually inspect the condition of main defects. The checklist consisted of a part to grasp basic information and a part to inspect and evaluate the condition of facilities. The condition evaluation is presented as 'usable', 'usable after repair', and 'unusable' in consideration of the deterioration of North Korean facilities. In order to verify the applicability of the checklist, bridges in the vicinity of North Korea that are considered to have similar conditions to those in North Korea were selected as test beds. The evaluation results were compared and analyzed with the evaluation grade results in accordance with Korea's 'Special Act on the Safety and Maintenance of Facilities'. As a result, it is expected that the condition inspection focusing on the serviceability of the bridge will be possible in a short period of time when reconstructing and expanding aging bridges in North Korea, thus reducing the cost of replacing aging bridges.

Keywords : Checklist, North-Korean, Rapid Inspection, Rating Criteria, Bridge

본 논문은 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었음.(과제번호 22주요-대3-목적, 남북한 공동번영을 위한 인프라 통합연계 기반 구축 연구(2/2))

*Corresponding Author : Young Ho Lee(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: yhyi@kict.re.kr

Received June 22, 2022

Revised August 26, 2022

Accepted October 7, 2022

Published October 31, 2022

1. 서론

판문점 선언(2018)을 계기로 남북경제협력에 대한 기대가 고조되면서 그 기반이 되는 북한의 사회기반시설 정비 및 확충에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 일환으로 남북 도로연결 및 현대화를 위한 개성~평양 간 고속도로 공동조사가 실시되었다. 조사결과 이들 구간 시설물의 심각한 노후화 및 기능상실의 실상이 현지 조사를 통해 확인되었다[1]. 우리나라는 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 시특별법)에 따라 시설물의 안전점검 및 유지관리를 수행하고 있으나[2], 북한의 사회기반시설 구축 및 유지관리는 중앙정부와 군대, 경찰 등과 같이 보안과 치안 중심의 조직이 관할하고 있어 유지관리에 대한 규정이나 지침 등의 자료를 입수하기 어려운 상황이다[3]. 다만, 남북 현지 공동조사 결과에 비추어 북한이 보유한 대부분의 시설물이 제 성능을 발휘하지 못하는 것으로 미뤄볼 때 북한의 유지 및 운영관리 역량이 부족한 것으로 판단된다.

통일 독일의 인프라 재건 사례[4]를 보면, 동독의 초기 상황도 전체 고속도로의 약 75%가 1945년 이전에 건설된 것으로 매우 낙후되어 있었으며, 도로망에 있는 교량 중 10%는 철거되어야 할 상태였고, 30%는 개축이나 보수가 필요한 상태로 전체도로 면적의 45%는 노후화로 인한 보수를 필요로 하는 상태였다. 북한이 처한 사회기반시설 정비 관련 이슈들과 매우 유사한 특징을 가지고 있었다. 통일 독일이 고속도로와 국도 차원의 간선도로 건설 및 교통안전을 위해 우선적으로 취한 조치는 사고 다발지역 및 사고원인 제거, 응급조치를 통한 교통장애 제거 또는 완화, 간선도로에 위치한 교량 보수·확충을 위한 준비작업 및 조치 등이었다. 이러한 단·중기 선행 조치를 완료한 이후 장기적인 프로젝트의 행정적·기술적 계획 작업을 시작하였다.

국내에서는 관련 학·협회 및 공사 등을 중심으로 북한의 사회기반시설 정비 및 확충을 위한 연구를 진행하고 있으나[5,6], 접근 불능지역이라는 북한의 특수성으로 인하여 연구 성과를 내는데 많은 어려움을 겪고 있다. 이에, 북한보다 기술적 우위를 점하고 있는 분야에 대해서는 보유기술을 바탕으로 우선적으로 준비해야 할 사항에 대하여 선행연구를 진행할 필요가 있다.

한편, 북한의 사회기반시설의 정비 및 확충을 위해서는 상당한 시간과 막대한 비용이 소요될 것으로 예상된다[7]. 시간 및 비용 부담을 최소화하기 위해서는 기존의 사회기반시설을 최대한 활용할 필요가 있으며, 이를 위

해서는 시설물의 사용가능 여부를 신속히 진단할 수 있는 방안 마련이 필요하다.

본 연구에서는 북한 사회기반시설 특히, 교량시설물의 활용도를 높이기 위해, 북한지역 교량의 상태안전을 신속히 진단할 수 있는 체크리스트를 개발하고, 실제 교량에 적용하여 유용성을 검증하는 것을 목표로 하였다.

2. 국내외 교량 안전점검 사례조사

2.1 국외 사례

2.1.1 미국 National Bridge Inspection Standards 사례

미국 National Bridge Inspection Standards(이하 NBIS)[8]은 1967년에 발생한 실버 브리지(버지니아 주) 붕괴사건을 계기로 교량 유지관리에 대한 국가적 관심이 높아지면서 1968년 연방고속도로법(Federal Highway Act of 1968)에 근거하여 제정되었다. NBIS는 공공도로에 위치한 고속도로 교량으로 정의된 모든 구조물에 적용되며, NBIS에 따라 미연방도로청(FHWA : Federal Highway Administration, 이하 FHWA)과 미국 고속도로교통관리협회(AASHTO : The American Association of State Highway and Transportation Officials, 이하 AASHTO)는 1971년부터 지속적으로 관련 지침을 보완하여 현재의 가이드라인을 마련하였다.

FHWA의 Bridge Inspector's Reference Manual[9]는 점검유형을 국한하지 않고 모든 점검내용을 포함하고 있으며, 교량의 주요 구성요소를 데크, 상부구조, 하부구조로 구분하고 도로선형을 포함한 교면 포장 상태, 데크, 상부구조, 하부구조의 순서로 결함을 점검하도록 가이드하고 있다.

미국의 각 주에서는 FHWA, AASHTO의 지침을 기반으로 교량점검 매뉴얼을 운영하고 있다. 일례로 펜실베이니아 주의 교량점검 결과 기록은 교량에 대한 기본정보와 데크 형상, 교통안전 특징 등을 먼저 기록하고, 데크 표면, 신축이음, 데크 등을 시작으로 상부구조(거더, 배수시설, 교좌장치 등), 하부구조(교대, 교각 등) 등을 순차적으로 작성한다. 교량 안전점검 결과평가는 National Bridge Inventory(이하 NBI) 등급 가이드라인에 따르며, 숫자로 0~9 등급까지 구분하여 표기한다.

예를 들면, 교량 데크의 등급평가에서는 콘크리트 데크의 경우 균열, 스케일링, 박리, 박락, 침출, 포트 홀 등

을 검사하여 0~9 등급 중에서 등급을 평가하고, 상태설명명은 'good-fair-poor-severe'의 4 단계로 구분한다. 각 주의 교통국(DoT: Department of Transportation, 이하 DoT)은 안전점검 및 종합적인 점검을 완료하면 NBI 등급과 Sufficiency Rating 등을 사용하여 유지관리 전략을 수립한다. Sufficiency Rating은 FHWA에서 사용하는 교량의 유지관리 지표로 교량이 아직 사용가능한지를 나타내는 정량적인 지표 즉, 안전성, 사용성, 기능성과 같은 서비스 수준을 나타낸다. Table 1은 FHWA의 Bridge Inspector's Reference Manual[9]에서 제시하고 있는 콘크리트 교량의 주요 점검항목을 나타낸다.

Table 1. Check items for Concrete bridges in FHWA, USA

Part	Check Item
Deck	Concrete deck flatness and roughness of the pavement, cracks, scaling, delamination, spalling, chloride contamination, freeze-thaw, surface breakdown, pore pressure, efflorescence, alkali silica reactivity (ASR), ettringite formation, honeycombs, popouts, Wear, collision damage, abrasion, overload damage, reinforcing steel corrosion, prestressed concrete deterioration
	Deck joints dirt and debris accumulation, corrosion, proper alignment (horizontal/vertical), broken, damage to seals and armored plates, spalled edges on joints
	Drainage System debris accumulation, clogged deck drains, disconnected/clogged piping, cracked or split pipes, loose or missing connections, corrosion or section loss in metal pipe
Super structure	Slab, Beam, Girder, etc. cracks, scaling, delamination, spalling, chloride contamination, freeze-thaw, efflorescence, alkali silica reactivity (ASR), ettringite formation, honeycombs, popouts, wear, collision damage, abrasion, overload damage, internal steel corrosion, carbonation
	Bearings cracks, corrosion, looseness, delamination, spalling, condition and operation of bearing devices
sub structure	Abutments, wingwalls, Piers, Bents cracks, scaling, delamination, spalling, chloride contamination, freeze-thaw, efflorescence, alkali-silica reactivity (ASR), ettringite formation, honeycombs, popouts, wear, collision damage, overload damage, internal steel corrosion, loss of prestress, carbonation, abrasion

2.1.2 캐나다 앨버타 교통국 교량 안전점검 사례

캐나다 앨버타 교통국의 교량점검 기준은 Table 2와 같이 등급유형은 4가지, 등급체계는 구조물 요소에 따라 3가지로 구분되어 있다[10]. 이는 점검을 통해 안전문제의 식별과 표시, 상태의 측정, 유지보수 요구사항의 확인을 위함이다.

Table 2. Condition rating system in Alberta, Canada

Item	Description
Types of ratings	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Condition Ratings(elements) ◦ General Ratings(summarizes respective sections) ◦ Structural Condition Rating(overall rating of the structure's structural condition in %) ◦ Sufficiency Rating (overall rating of structure sufficiency in %)
Rating System	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Individual elements of structure(girders, railing, etc) ◦ Major components(approach roads, superstructure, substructure, etc) ◦ Overall condition of the structure(sufficiency and structural ratings)

앨버타 교통국의 교량점검 양식은 재원구성과 유틸리티시설, 접근로, 상부구조, 하부구조 등의 육안점검 항목들로 구성되어 있다. 육안점검을 통해 양식의 해당하는 각각의 항목에 대해 상태를 조사하여 등급을 평가하며, 현재 상태에 대한 추가 설명을 작성하고, 색선별로 일반 상태등급을 결정한다. 상태등급은 각 부재의 상태등급, 일반 상태등급(부재별 종합), 시설물의 종합적인 상태등급으로 각각 1~9 등급까지 단계적으로 결정하며, 상태설명명은 'Very Good-Good-Adequate-Poor-Immediate action'의 5 단계로 구분하여 설명한다. 일반 상태등급은 카테고리 내의 개별 요소들에 대한 등급 부여 후에 동일한 등급시스템에 따라 점검자가 작성한다. 이때, 개별 요소에 대한 단순 평균이 아니라 핵심 요소의 상태와 교량의 안전과 구조적 완결성에 그들이 미치는 영향을 고려하여 결정하도록 하고 있다. 교량의 종합적인 상태등급은 구조적 상태 35%, 강도 20%, 접근성 및 안전 45%, 교통량 감소 영향 15% 등 4개의 주요 영향인자의 상대적 중요도에 의해 결정된다.

Table 3은 앨버타 교통국에서 활용하고 있는 콘크리트 교량의 주요 점검항목을 나타낸다[10].

Table 3. Check items for Concrete bridges in Alberta

Part		Check Item
Super structure	Deck Top	cracks, scaling, spalling, popouts, chemical deterioration, and dampness
	Deck joints	water-tightness, vertical alignment, rust, sound concrete for anchorage, surface deterioration, noise under traffic
	Sidewalk	surface for smoothness (tripping hazards), adequate traction, debris, spalls, scaling, cracks, deterioration
	Concrete Girders	cracks, excessive vibrations and deflections under traffic, misalignment, offset at hinges, spalls
	Bearing	excessive vibrations or movement under traffic, bearing pads or plates for creeping out of position, deterioration
	Subdeck	cracks, stains, spalls, scaling, efflorescence, exudation, deterioration
sub structure	Bearing seats, Caps, Corbels	evidence of loose connections or corrosion of drift pins, rotation or displacement of caps or corbels, dampness or ponding and debris accumulation of bearing seats/caps, cracks, delaminations, spalls, corrosion of reinforcement
	Backwalls	cracks, spalls, general disintegration, whether drains and weep holes
	Wingwalls	connections, spalls, cracks, disintegration
	Bearing piles, Pier shaft	deterioration, bowing and misalignment of piles, heaving or settlement of piles, cracks, spalls, efflorescence
	Abutment	clearance, displacement, unevenness, cracks, scour/erosion
	Bracing/ Struts/ Sheathing	all connection for deterioration, cracks

2.2 국내 사례

2.2.1 시트법 1, 2종 교량 안전점검 사례

시트법에서 안전점검은 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구 등으로 시설물을 검사하여 내재되어 있는 위험요인을 조사하는 행위로 정의하며, 시설물의 상태변화를 추적하고, 중대한 결함을 발견할 수 있도록 점검항목을 구성하고 있다. 현장조사는 기존 시설물에 관한 기초자료를 얻고, 구조물의 상태변화 및 구성 재료의 변화를 추적하기 위해 수행한다. 상태평가는 외관조사를 통해 결함 정도와 시설물 상태를 평가하는 것이며, 안전성 평가는 현장조사 자료를 기초로 설계도서 및 기존 안전점검 및 정밀안전진단 실시결과를 참고하여 시설물의 구조·수리·수문해석 등 안전성을 평가한다. 시설물은 안전점검 후 안전등급을 A~E 등급까지 5 단계로 구분한다. 다만, 안전에 직접 영향을 미치지 않고 내구성에만

영향을 미치는 경우에는 A~D 등급까지 4 단계로 구분한다.

이와 같은 정의에 따르면 본 연구에서 제시하는 북한 지역 교량의 급속 상태안전 평가는 정기안전점검 수준의 현장조사를 근거로 상태평가를 수행하는 것으로 범위를 한정지을 수 있다. 즉, 시설물의 기본정보와, 시간경과에 따른 시설물의 상태변화를 간단한 외관조사로 결함을 평가하는 행위를 의미한다.

교량시설물에 대한 중대한 결함은 시설물의 기초세굴, 교량 교각의 부등침하, 교량 받침의 파손 등 총 11가지로 분류되고 있다[11]. 이들 결함에 대해 콘크리트 바닥판, 강 바닥판, 강 거더 및 강 교각(강 주탑), 철근콘크리트 거더, 프리스트레스 콘크리트 거더, 콘크리트 가로보, 강 가로보와 세로보, 케이블, 교대, 콘크리트 교각, 기초, 교량받침, 신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간 및 연석 등 부재(부위)별로 구분하여 점검부위와 손상종류를 제시하고 있다. 교량의 상태평가 기준 및 방법은 안전에 직접 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 받침은 a~e의 5 등급을 사용하며, 내구성에 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d의 4 단계 등급체계를 활용하고 있다. 평가결과 산정 방법은 경간(지점)별 부재 상태평가와 전체 시설물의 상태평가 결과 결정방법으로 수행된다.

- 경간(지점)별 부재 상태평가 산정
- 부재별 결함 및 손상에 대한 평가 후 최저값을 개별 부재 상태평가 결과로 산정
- 경간 내 여러 부재가 있을 경우 최저값을 경간(지점)의 상태평가 결과로 산정
- 전체 시설물의 상태평가 결과 결정방법
- 구조형식이 같은 부재는 평균하여 상태를 결정하고, 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결합도 점수를 산정

2.2.2 시트법 3종 교량 안전점검 사례

시트법 3종 교량의 안전점검은 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침」(국토교통부 고시, 제 2018-45호)의 시행을 위하여 발간한 '제3종시설물 안전 등급 평가 매뉴얼(안)'(2018.2)에 따른다[12]. 시트법 3종 교량으로 지정할 수 있는 대상은 준공 후 10년이 경과된 교량으로 「도로법」상 도로교량 연장 20m 이상~100m 미만 교량, 「농어촌도로정비법」상 도로교량 연장 20m 이상 교량, 비 법정도로 상 도로교량 연장 20m 이상 교량, 연장 100m 미만 철도교량이다.

안전점검은 시트법 1, 2종 시설물에 비해 단순화하여 주요시설, 일반시설, 부대시설로만 구분하고, 교량의 경우 Table 4와 같은 체크리스트를 활용하며, 각각의 상태 점수에 대해 주요시설 60%, 일반시설 20%, 부대시설 20%의 상대적 가중치를 고려하여 종합점수를 산정한 후 최종 점수에 따라 양호, 주의, 불량으로 구분한다.

Table 4. Check evaluation items for bridge

Part	Check items
Major part	1. Crack and damage of girders
	2. Crack and damage of slab
	3. Damage of main steel members and joints
	4. Damage of cable members
	5. Damage of Shoe and surrounding
	6. Crack and damage of pier and abutment
	7. Damage, scour, and settlement of foundation
General Part	8. Crack and damage of pavement
	9. Crack and damage of expansion joint
	10. Crack and damage of crossbeams and stringers
	11. Clogging and damage of drainage
	12. Painting and rusting of steel members
	13. Damaged of guardrails and curbs
Additional Part	14. Crack and damage of retaining wall
	15. Damage of other part (firewalls, guard rails, soundproof walls, etc.)
	16. Drainage and damage of slopes

3. 교량 급속 상태안전 점검 체크리스트 개발

3.1 상태안전 점검 체크리스트(안)

Table 5. Checklist items and methods

Part	Check Items	Check Methods
Deck	◦Flatness, crack, deformation, material separation, etc. of pavement	◦on-site survey focusing on deformation and material separation
	◦Cracking, peeling, leaking, rebar exposure of slab	◦non-destructive strength, rebar detector, telescope or drone if needed
	◦Crack, damage, step, etc. of expansion joint	◦on-site survey focusing on problem areas
	◦Deformation, corrosion, breakage, deterioration of railings, walkways and curbs	◦on-site survey focusing on problem areas
	◦Drainage, blockage, damage, etc.	◦on-site survey focusing on problem areas
Super-structure	◦Reinforcement of corrosion, exposure, peeling and peeling of concrete of girder	◦non-destructive strength, rebar detector, telescope or drone if needed
	◦Failure of girder support and rebar exposure	◦visual inspection
	◦Bridge support failure, breakaway, broken	◦visual inspection
Sub-structure	◦Concrete fall/crack in abutment, wing wall foundation damage, soil loss, etc.	◦non-destructive strength, rebar detector, telescope or drone if needed
	◦Falling, cracking of pier concrete	◦non-destructive strength, rebar detector, telescope or drone if needed
	◦Differential settlement and scour of the foundation	◦visual inspection

북한의 교량시설물은 대부분 일본 강점기에 건설한 것을 개보수하거나 일부 추가 건설한 30m 이하의 단경간 교량으로 우리나라의 1970년대 수준과 유사하며, 교량 상태도 심각한 노후화로 인하여 보수·보강 및 개량화가 이루어져야 할 것으로 추정되고 있다[13]. 본 연구는 향후 북한지역의 노후화 교량의 재건 및 확충 시 교량의 사용가능 여부에 초점을 둔 상태안전 점검을 단기간에 신속히 수행할 수 있는 체크리스트를 마련하는데 있다.

체크리스트 개발을 위해 국내외에서 시행하고 있는 교량시설물 안전점검 매뉴얼을 대상으로 1) 주요 점검 시설(테크, 상부구조, 하부구조)을 구분하고, 2) 주요 시설의 부재(부위)별로 발생하는 결함유형, 3) 주요 시설에 대한 점검요령과 평가방법 등에 대해 분석하였다. 그 결과 본 연구의 대상인 콘크리트 교량의 경우 점검 시설에 상관없이 재료적인 특성에 따라 일반적인 결함 유형(스케일링, 박리, 백화, 탈락 등)이 나타나며, 시설물의 상태 안전은 핵심 부재(부위)의 구조적 결함(휨균열, 전단균열 등)에 좌우되는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 체크리스트를 시설물에 대한 기본정보를 파악하는 부분과 시설물의 상태를 직접적으로 점검 및 평가하는 부분으로 구분하였다. 교량에 대한 기본정보는 시설물명, 준공년도, 위치, 설계하중, 제원, 구조 및 기초형식과 교량받침, 신축이음, 통과높이 등을 차례로 조사해서 작성하도록 하고, 기타 필요 사항을 이미지나 텍스트로 보완하도록 하였다.

상태안전 점검은 Table 5와 같이 시트법 3종 교량시

설물의 안전점검 체크리스트 항목(Table 4) 중 교량의 상태안전에 직접 영향을 미치는 핵심 부재(부위)를 중심으로 결함유형을 집중 점검할 수 있도록 교량시설을 교량 데크, 상부구조, 하부구조로 구분하고 점검항목별 결함유형을 세분화하여 점검자가 참고할 수 있도록 구성하였다.

한편, 시트법에서 안전점검은 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 점검기구 등을 사용하여 시설물을 검사하도록 규정하고 있으며, 본 연구에서 제시하는 체크리스트의 활용에 있어서도 '시트법 시행령 제9조(책임기술자의 자격 등)'에서 규정하는 요건을 갖추거나 동등 이상의 기술적인 지식과 경험을 갖춘 자가 안전점검을 실시하는 것을 전제로 하였다.

3.2 상태안전 등급(안)

국내외 시설물의 상태안전 등급은 세분화의 정도에 따라 다소 차이가 있으나 숫자 또는 알파벳을 활용하여 정량적으로 표현한다. 우리나라는 5 등급(A~E), 미국과 캐나다는 9 등급(1~9)으로 표시한다. 상태설명은 우리나라는 '우수-양호-보통-미흡-불량', 미국은 'Good-Fair-Poor-Severe'로 구분하고, 캐나다는 'Very Good-Good-Adequate-Poor-Immediate action' 으로 구분한다. 각 국가의 상태안전 등급은 보수·보강의 이행조치 필요 여부와 사용제한 필요 여부를 판단하는 기준으로 사용된다.

본 연구에서는 북한 교량시설물의 노후화가 심각한 상황을 고려하여 상태안전 등급을 세분화하기 보다는 사용가능 여부와 사용제한 조치 여부에 따라 '사용가능', '보수 후 사용가능', '사용불가' 상태로 구분하였다.

'사용가능' 상태는 시설물의 상태에 이상이 없거나, 주요 부재에 경미한 손상이 발생하였으나 긴급한 보수·보

강의 이행이 필요하지 않은 상태로 경미하게 발생한 결함 및 손상 등의 진전 관리를 위해 정기적인 점검이 필요한 시설물을 의미한다.

'보수 후 사용가능' 상태는 주요 부재에 일부 손상이 발생한 상태이나 안전상의 위험도가 비교적 낮으며, 보수·보강 후 지속적인 사용이 가능한 상태이며, 보수·보강이 이행될 때까지는 지속적인 관찰이 요구되는 시설물을 의미한다.

'사용불가' 상태는 주요 부재에 발생한 손상이 심각하고, 광범위하여 보수·보강의 이행 보다는 개축이 경제적이거나, 완전한 기능상실로 인해 즉시 사용을 중단하고 안전조치를 취해야 하는 상태로, 철거나 개축 전까지 상시로 수치적인 계측 관리와 안전을 위해 긴급 보강 등의 응급조치를 즉시 이행하여야 하는 시설물을 의미한다.

본 연구에서 제안하는 상태안전 등급을 미국과 비교해 보면 '사용가능' 상태는 Good과 Fair의 일부에, '보수 후 사용가능' 상태는 Poor와 Severe의 일부에, '사용불가' 상태는 Severe에 해당한다. Table 6은 본 연구에서 제안하는 상태안전 등급과 각 국가의 상태안전 등급을 비교한 표이다.

4. 테스트베드 선정 및 적용

테스트베드는 개발된 체크리스트를 실제 교량의 상태안전 점검에 직접 적용함으로써 활용 적정성을 검증하는데 목적이 있다. 테스트베드는 현재 북한지역에 대한 접근이 불가능하므로 Table 7과 같이 북한 인접지역의 국도와 지방도의 교량 중 준공 후 최소 20년 이상 경과되고 관리상태가 비교적 열악해 북한지역의 교량 상태와 유사하다고 생각되는 시설물을 선정, 적용하였다. 점검

Table 6. Comparison of facilities condition criteria of each country

USA		Canada		South Korea		North Korea	
Grade	Description	Grade	Description	Grade	Description	Grade	Description
9	Good condition	9	Very good(new)	A	Excellent	1	usable
8							
7							
6	Fair condition	6	Good	B	Good	2	usable after repair
5							
4	Poor condition	4	Adequate(fair)	C	Norman	3	unusable
3							
2	Severe condition	2	Poor	D	Poor	3	unusable
1							
		1	Immediate Action	E	Severe		

Table 7. Bridge overview for Test bed

Name	Location	Length(m)	Width(m)	Type	Yr
A	Paju, Gyeonggi	101	19.5	RC Slab	'00
B	Paju, Gyeonggi	135	6	RC Slab	'99
C	Paju, Gyeonggi	110	13	RC Slab	'96
D	Paju, Gyeonggi	60	7.5	Girder	'66
E	Chuncheon, Gangwon	24	9	Rahmen	'94
F	Chuncheon, Gangwon	48	5.6	RC Slab	'85
G	Chuncheon, Gangwon	30	6	RC Slab	-

은 체크리스트에 따라 교면포장, 신축이음, 교면바닥, 거더, 교대, 교각, 교량 받침 등의 순서로 육안조사로 수행하였으며, 측정이 간단한 항목은 간단한 점검용 도구를 사용하여 교량의 주요 부위를 점검하였다.

점검결과와 평가는 시설물 안전에 직접 영향을 미치는 균열의 발생 폭과 위치, 시설물 파손(콘크리트 박리, 박락, 철근노출 등), 누수, 백태와 같은 시설물의 내구적인 성능을 저해하는 요인들에 대한 결함 정도를 기준으로 각 부재(부위)별 상태를 종합하여 산정하였다. 체크리스트 결과 집계 표는 Table 8과 같다. 점검결과, A와 C 교

Table 8. Results of evaluation the checklist on test bed bridge

Name	Type	Part	Checklist Evaluation		Final rating
			Rating	Evaluation	
A	RC Slab	Deck	1	◦minor pavement cracks and material separations	1
		Superstructure	2	◦horizontal Crack 0.5mm, reticular crack 0.3mm ◦leakage and efflorescence around drainages	
		Substructure	1	◦soil loss on the wing wall of abutment ◦fine vertical cracks of abutment	
B	RC Slab	Deck	3	◦separation of material across the entire pavement and cracks, holes, breakage in many places	2
		Superstructure	1	◦flexural crack 0.2mm on slab bottom ◦partial leakage and efflorescence	
		Substructure	2	◦shoe steel corrosion ◦abutment and pier coping crack 0.3~1.0mm	
C	RC Slab	Deck	2	◦moderate rutting ◦expansion joint steel corrosion, expansion joint concrete crack	2
		Superstructure	1	◦crack 0.3mm on slab bottom ◦leakage and efflorescence around drainages	
		Substructure	2	◦shoe steel corrosion ◦vertical crack 10mm on abutment	
D	Girder	Deck	3	◦pavement damage, severe pot holes and separation of materials ◦expansion joint loss, leakage ◦bridge rail concrete peeling, severe rebar corrosion	3
		Superstructure	3	◦up to 60cm exposed to rebar on slab bottom ◦girder end concrete crushing, rebar exposure	
		Substructure	3	◦failure to function due to severe corrosion of shoe ◦up to 60cm exposed to rebar on pier coping	
E	Rahmen	Deck	3	◦pavement damage, severe pot holes and separation of materials	2
		Superstructure	2	◦1.2m rebar exposure due to S2 concrete peeling ◦inclined crack 0.3~0.5mm occurs at the end	
		Substructure	2	◦vertical Crack 0.3mm ◦multiple 0.3mm cracks, leaks and efflorescence on piers	
F	RC Slab	Deck	3	◦pavement cracks and severe pot holes ◦severe leakage of expansion joint	3
		Superstructure	3	◦many cracks over 1.0mm, severe concrete peeling ◦leakage and efflorescence, and separation of materials of slab	
		Substructure	3	◦concrete crushing at abutment and pier coping ◦separation of materials and scour at abutment and pier coping	
G	RC Slab	Deck	3	◦material separation serious, damage of pavement at the starting point and end point ◦undersized extension span (1.5cm), damage of concrete around and leakage	2
		Superstructure	2	◦reticular crack at the starting point and end point, 0.3mm multiple flexural cracks	
		Substructure	3	◦rebar exposure due to inadequate cover thickness ◦leakage and efflorescence, and severe separation of materials at abutment both sides ◦foundation soil loss and scour	

량은 '사용가능' 상태로 평가되었으며, 그 외 교량은 '보수 후 사용가능' 또는 '사용불가' 상태로 평가되었다. 상태안전 점검결과와 적정성 확인을 위하여 테스트베드로 선정된 교량의 시설물정보관리종합시스템(FMS : Facility Management System, 이하 FMS) 등록 여부를 확인하였다. 이유는 해당 점검 시설물이 주기적으로 유지관리되었는지, 점검결과가 어떻게 나왔는지를 확인할 수 있기 때문이다. 확인결과 A와 C 교량은 FMS에 등록된 시설물로 정기적인 유지관리가 이루어졌으며, 그 외 교량은 FMS에 등록되지 않은 시설물로 적절한 유지관리가 이루어지지 않았음을 확인하였다. 이를 통해 개발된 체크리스트의 점검결과와 적정성을 확인하였다. Table 9는 테스트베드 교량의 FMS상의 상태안전 등급과 개발된 체크리스트를 적용한 상태안전 등급을 비교한 표이다.

Table 9. Comparison between checklist and Korean rating

Name	South Korea		Checklist
	FMS	Other	
A	B		1
B		None	2
C	C		2
D		None	3
E		None	2
F		None	3
G		None	2

5. 점검 체크리스트 및 등급 기준(안) 제안

Table 10은 본 연구를 통해 개발한 북한지역 교량의 급속 상태안전 점검 체크리스트 및 등급 기준(안)을 나타낸다.

제안된 체크리스트 및 등급 기준은 국내외에서 시행하고 있는 교량시설물 안전점검 매뉴얼에 대한 분석결과를 바탕으로 초안을 도출하고, 테스트베드 적용결과와 전문가 자문을 통해 수정·보완하였다.

제안된 체크리스트(Table 10)는 Table 5에서 제시한 점검항목 및 결합유형을 바탕으로 테스트베드 적용결과를 반영하여 발생빈도가 높은 결합유형을 일부 보완하여 수정하였다.

또 상태안전 등급 기준은 외국의 경우 너무 세분화되어 복잡하며, 향후 남북한 교량시설물의 통합관리라는 측면에서 우리나라 시특별 상의 등급 기준을 바탕으로

제안하였다. 다만, 우리나라 시특별 3종 교량시설물의 등급 기준은 정성적(예를 들면 '양호' : 안전에 문제가 없는 상태)으로만 표현되어 있어, 시특별 1·2종 교량시설물의 상태안전 등급 기준을 바탕으로 본 연구에서 제안하고 있는 급속 상태안전 점검이라는 취지에 부합하도록 최소한의 정량적 측정에 의한 상태평가와 점검자의 정성적 판단에 의해 상태를 평가할 수 있도록 등급('사용가능', '보수 후 사용가능', '사용불가')별 평가기준을 개발하였다.

6. 결론

본 연구에서는 북한지역 교량시설물을 대상으로 상태안전을 단기간에 신속히 점검할 수 있는 체크리스트를 개발하고 테스트베드 적용을 통한 활용 가능성을 제시하였다.

체크리스트는 기본정보를 파악하는 부분과 시설물 상태를 점검 및 평가하는 부분으로 구분하고, 상태안전 점검은 교량 데크, 상부구조, 하부구조의 순서로 수행할 수 있도록 내용과 방법을 제시하였다.

상태안전 점검결과와 평가는 시설물의 사용가능 여부 확인에 초점을 두고 '사용가능', '보수 후 사용가능', '사용불가' 상태로 간결하게 구분하였다.

개발된 체크리스트의 적정성 확인을 위해 북한지역의 교량 상태와 유사하다고 생각되는 교량을 테스트베드로 선정, 개발된 점검 체크리스트를 적용하고, 그 결과를 우리나라의 '시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법'에 따른 평가 등급 결과와 비교 제시하였다.

상태안전 등급 기준은 우리나라의 시특별 1, 2종 교량시설물의 상태안전 등급 기준을 바탕으로 급속 상태안전 점검이라는 취지에 부합하도록 최소한의 정량적 측정에 의한 상태평가와 점검자의 정성적 판단에 의해 상태를 평가할 수 있도록 등급별 평가기준을 개발, 제안하였다.

본 연구를 통하여 향후 북한지역의 노후화 교량의 재건 및 확충 시 교량의 사용가능 여부에 초점을 둔 상태안전 점검을 단기간에 신속히 진행할 수 있으며, 노후화 교량의 전면적인 교체에 다른 비용을 절감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

또한 본 연구에서 개발된 급속 상태안전 점검 체크리스트는 콘크리트 교량시설물만을 대상으로 하고 있어 적용 시설물의 범위 확대 및 점검 체크리스트의 개발 등 추가적인 연구가 요구된다.

Table 10. Condition evaluation criteria for rapid bridge inspection checklist

Check items	Condition rating criteria		
	1-usable	2-usable after repair	3-unusable
1. Bridge deck			
◦Bridge surface pavements - check for cracks, deformations (unevenness, wheel mark, step difference), pothole(dent) and material separation	◦almost no unevenness and crack ◦slight depression	◦somewhat unevenness and crack: little bit of vibration during traffic ◦depression more than 30mm deep	◦high unevenness and crack: causing vibration during traffic ◦over depression and falling
◦RC Slab - check for crack, stripping, leakage, rebar exposure, efflorescence	◦slight stripping and fracture, and no rebar exposure	◦crack less than 1.0mm, reticular crack less than 0.5mm ◦local stripping and fracture, partial rebar exposure	◦crack more than 1.0mm, reticular crack more than 0.5mm ◦overall stripping and fracture, multiple rebar exposure, and increased corrosion
◦Expansion joints - check for crack and fracture, gap clearance, step difference, etc	◦no leakage ◦crack less than 0.3mm, no damage	◦broken or not installed drip tray, early occurrence of corrosion due to leakage ◦crack less than 1.0mm	◦increasing corrosion of substructure ◦crack more than 1.0mm
◦Bridge rails, sidewalks and curbs - check for deformation, corrosion, fracture, cracking, etc	◦crack less than 0.3mm, no damage ◦early occurrence of corrosion	◦multiple crack 0.3~1.0mm, partial fracture ◦corrosion less than 40%, partial fracture	◦multiple crack more than 1.0mm, overall fracture ◦overall corrosion, deformation, fracture
◦Drainages - check for leakage, blockage, fracture, etc	◦good condition (with or without cover)	◦sediments present and early corrosion	◦severe leakage and overall corrosion due to poth condition
2. Superstructure			
◦Girder center - check for lateral crack, stripping, fracture, rebar exposure	◦lateral crack less than 0.3mm	◦lateral crack less than 1.0mm ◦partial stripping and rebar exposure	◦lateral crack more than 1.0mm ◦concrete falling due to crack, increasing rebar exposure
◦Girder end(support) - check for diagonal crack, stripping, fracture, rebar exposure	◦early occurrence of diagonal crack ◦rebar exposure due to lack of concrete cover	◦diagonal crack less than 0.4mm, progress up to 2/3H ◦increasing concrete stripping, rebar exposure less than 50mm	◦diagonal crack more than 0.4mm, progress overall web ◦end concrete stripping, increasing rebar exposure
◦Shoes - check for deformation, fracture, separation, lack of gap clearance	◦partial rusting of shoe ◦minor crack of support	◦increasing corrosion of shoe ◦functional failure of shoe	◦absolute damage of shoe ◦functional failure of support
3. Substructure			
◦Abutments - check for inclination and overturning - check for crack, stripping, falling, rebar exposure, efflorescence - check for crack, fracture, settlement, blocking drainage, soil loss on wall and wing wall	◦crack less than 0.3mm, no stripping ◦partial efflorescence	◦crack less than 1.0mm, partial stripping and falling ◦increasing efflorescence	◦crack more than 1.0mm, multiple partial falling ◦rebar exposure, increasing corrosion
◦Piers - check for inclination and overturning - check for crack, stripping, falling, rebar exposure, efflorescence	◦crack less than 0.3mm ◦slight concrete crushing	◦crack less than 1.0mm ◦stripping and falling of cover, partial rebar exposure, shoe support concrete falling	◦crack more than 1.0mm ◦increasing concrete falling, rebar exposure, and corrosion
◦Foundations - check for stripping, falling, rebar exposure, efflorescence - check for differential settlement and scour	◦partially scour progress	◦clearly scour progress	◦settlement occurrence and obvious damage of main part

References

- [1] Daily Hankook, North and South Korea, 'Kaeseong ~ Pyongyang' Expressway 'Local Joint Survey' Completed, <http://daily.hankooki.com>, 2018.08.21.
- [2] Ministry of Government Legislation, Special Act on the Safety Management of Facilities, Law No. 14545, 2018.01.
- [3] S. W. Byun, North Korean Architecture Watch 06 North Korea's Building Construction, Korea Institute of Architects, Architect vol.628, 2021.08.20.
- [4] Embassy of the Republic of Germany, White Paper on Unification of Germany, Unification Policy Document 8, 1994.10.
- [5] H. M. Ko, Finding implications and policies through analyzing the current status of research on unified Korean peninsula infrastructure facilities, ICEE, Land & Construction Review, no 4, 2015.11.
- [6] C. S. Shin, J. H. Kwon, J. S. Lee, M. N. Kim, E. S. Lee, Integrated promotion strategy for the establishment of infrastructure for the construction of the Korean Peninsula in preparation for unification, KISTEC, 2015.12.
- [7] J. G. Lym, Y. S. Kim, G. H. Huh, G. S. Kim, S. M. Kim, Economic Effects of North Korea's Infrastructure Development, National Assembly Budget Office, 2019.09.
- [8] FHWA, 23 CFR Subpart C-National Bridge Inspection Standards, FHWA Docket No. FHWA-2001-8954, 2004.12.14.
- [9] FHWA, Bridge Inspector's Reference Manual, U.S.DoT, FHWA NHI 12-049, 2012.12.
- [10] Alberta Transportation, Condition Rating, Bridge Inspection and Maintenance. <https://www.alberta.ca/transportation.aspx>
- [11] KISTEC, Detailed Guidelines for Safety Inspection and Precision Safety Diagnosis, MOLIT, 2010.12.
- [12] KISTEC, Manual for evaluating safety of the 3rd class facilities, MOLIT, 2018.02.
- [13] T. H. Jung, A Study on the Analysis and Development of Construction Infrastructure in North Korea for Unification, National Defense University, 2017.12.

이 영 호(Young Ho Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 계명대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 1997년 9월 : 교토대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2000년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

건설사업관리, 시설물유지관리, 재난안전관리, 건설정보화, 북한 건설 산업·기술 정책, 북한 인프라 건설