교량 및 터널 보수·보강 기준 제정을 위한 국내외 보수·보강 매뉴얼 분석

Analysis of Repair and Strengthening Manuals of Domestic and Foreign for Establishment of Repair and Strengthening Manuals of Bridge and Tunnel

강 철* · 오광진**

Kang, Cheol · Oh, Kwang Chin

Abstract

In terms of maintenance of facilities demands of need about establishment of methodical standard of repair and strengthening for extend of service life and guarantee of safety have increased. To achieve this, development and dissemination especially materials quality and performance evaluation after construction for guides, manuals, and standards are needed. Many researchers have been performed about it over the last 17 years after establishment of special law about safe management of facilities, but associated with it, currently in domestic there have been not official standards yet. Therefore in this paper status of domestic and foreign (U.S, Japan, and EU) has analyzed priority for arrangement of standards of repair and strengthening. In particular, we were examined focus on quality-related content, Guides are divided into 3 steps (design, construction, and investigation), and then it was analyzed and it as a basis for improving quality of repair and strengthening technology, we suggested direction for presentation of standards.

Key words : Repair, Strengthening, Standards, Guides, Manuals

요 지

시설물의 유지관리 측면에서 수명의 연장 및 안전의 확보를 위한 보수·보강의 체계적인 기준 정립 및 필요성에 대한 요구가 늘어나고 있다. 이를 위해서는 특히, 사용되는 재료의 품질과 보수·보강 시공 후의 품질관리를 위한 지침이나, 매뉴얼, 기준 등의 개발이 필요하다. 시설물의 안전관리에 대한 특별법(이하 시특법) 제정 이후 지난 17년 동안 보수·보강에 대한 많은 연구가 수행되었지만 현재 국내에서 그것과 관련된 공식적인 지침은 아직까지 없는 실정이다. 이에 본 논문에서는 보수·보강 기준 마련을 위한 방향 제시를 위해 우선적으로 국내와 국외(미국, 일본, 유럽) 현황을 분석하였다. 특히, 품질과 관련된 내용을 중점적으로 검토하여 가이드를 3단계(설계, 시공, 검사)로 구분하여 분석한 뒤 이를 토대로 보수·보강 기술의 품질 향상을 위한 기준 마련의 방향을 제시하였다.

핵심용어 : 보수, 보강, 기준, 가이드, 매뉴얼

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

구조물은 건설 이후 시간 경과에 따라 내구성 및 내하력이 점차적으로 줄어들게 되므로 일정한 관리목표 수준을 유지하기 위해서는 성능이 저하된 구조물에 대하여 적절한 보수 또는 보강을 실시하여야 한다. 이러한 구조물의 보수·보강은 구조물을 구성하고 있는 부재와 재료 및 형식, 주위환경, 공용조건, 교통량 등 공사에 많은 영향을 미칠 수 있는 요인이

다양하므로 이러한 사항을 충분히 고려하여 목표로 하고자 하는 성능이 충족되는지 확인하여야 한다.

보수·보강은 다양한 재료를 복합적으로 사용하여 시공하는 경우가 많고 각 재료 간의 조합과 시공절차에 따라 품질이 크게 다르므로 성공적인 보수·보강을 위해서는 재료의 품질과 각 재료 조합의 적정성 그리고 현장에서의 시공관리를 복합적으로 평가하여야 하며 공사 시 품질을 보증할 수 있는 관리도구인 기준 또는 지침 등이 필요하다. 국내의 구조물 보수·보강기술은 초창기 외국의 재료 및 기술을 그대로 도

*정회원. 한국시설안전공단 시설안전연구소 연구원(E-mail: cheolk@kistec.or.kr)

Member. Researcher. Ph.D, Infrastructure Safety Research Institute, Korea Infrastructure Safety Corporation

**교신저자. 정회원. 한국시설안전공단 재난예방팀 차장(Tel: +82-31-910-4066, Fax: +82-31-910-4175, E-mail: okj@kistec.or.kr)

Corresponding author. Member. Deputy General Manager. Ph.D, Disaster Prevention Section, Korea Infrastructure Safety Corporation

Fig. 1. Flow of maintenance plan

입하여 국내의 제반환경을 고려하지 않아 많은 문제점 등이 노출되었으나 점차적으로 국내의 환경에 맞게 재료 및 기술을 발전시켜 다양한 보수·보강기술이 연구되고 현장에서 적용되고 있다. 특히 건설신기술분야에서는 구조물의 보수·보강분야에 많은 기술들이 등록되고 있어 국내의 연구 및 기술활성도가 높은 것을 알 수 있다.

한편 표준적인 구조물의 유지관리 흐름은 Fig. 1과 같다(Inoue *et al.*, 2005). 또한 향후 신설하는 경우에는 설계할 때 설계공용기간을 설정하고 그것에 관한 요소의 성능을 유지할 수 있는 내구설계를 하는 것이 필요하다. 구조물의 유지관리계획에서 가장 중요한 것은 적합한 보수·보강 설계와 시공이라고 할 수 있다. 이를 위해서는 그 분야의 전문적인 기술을 보유하고 있는 설계자와 시공자가 그 업무를 담당하여야 하며 기술과 이론이 바탕이 되는 관련 기준 및 지침을 통해 설계 및 시공을 통해 내구성 및 안전성을 확보할 수 있는 보수·보강을 하여야 한다. 구조물의 보수·보강에 사용되는 재료와 기술은 각각의 장단점을 가지고 있으며 이를 정확히 파악하여 최적의 효과를 발휘할 수 있도록 하여야 한다. 하지만 아직까지는 국내의 건설 환경 및 조건에 적합하지 않거나 부적절한 재료 또는 시공법에 의해 시공되는 사례가 많아 시일 경과 후 하자 발생으로 인한 반복적인 시공 등이 되풀이되고 있는 사례가 빈번하다.

국내에서는 보수·보강과 관련하여 일부의 기준 또는 편람 등이 있지만 구조물의 보수·보강 시 제한적으로 사용되며 실제적으로는 설계자나 시공자의 대부분이 경험에 의해 설계 및 시공이 이루어지고 있는 실정이다. 반면에 일본, 유럽, 미국 등에서는 보수·보강과 관련하여 설계와 시공 단계에서 기준 및 지침을 근거로 합리적인 설계와 품질성능을 유지할 수 있는 시공이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 구조물의 보수·보강 공사의 품질 향상에 기여하고자 보수·보강에 관한 국내외 기준 및 지침을 수집하여 구성, 내용 등을 분석하여 이를 토대로 국내 현실에 적합한 보수·보강 기준 마련을 위한 방향을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

시설물의 보수·보강과 관련된 기준의 마련을 위하여 본 연구에서는 보수·보강 기준 및 지침 등을 적용하고 있는 국외의 사례에 대한 조사와 국내의 현황을 비교분석하였다. 구조물 보수·보강에 대한 기준은 우선적으로 국내에서는 시설물유지관리협회 및 토지주택공사에서 작성한 보수·보강과 관련된 지침 등을 조사하였고 해외의 기준 및 지침은 미국콘크리트학회, 미연방도로청, 미국도로교통공무원협회, 일본토목학회, 일본PC건설협회, 일본교량건설협회, 유럽의 EN 등을 대상으로 조사하였다. 선정한 기준 및 매뉴얼 조사에서 구조물을 구성하는 대상 재료 중에서는 콘크리트와 강재를, 대상 시설물은 교량과 터널 등의 토목구조물을 중심으로 조사하였다. 연구 방법은 각국의 기준 및 매뉴얼을 대상으로 구성 체계를 파악한 뒤 이후 각 기준 및 매뉴얼의 항목을 동일한 분류체계에 의해 재분류하여 내용 구성을 파악하였다. 선정한 보수·보강 기준 또는 매뉴얼이 내용의 구성 및 작성체계에 큰 차이가 있어 본 연구에서는 분류체계를 크게 설계·시공·검사로 재분류 한 뒤 내용을 분석하여 국내의 실정을 고려한 보수·보강 기준 작성의 방향을 제시하고자 하였다.

2. 보수·보강 기준에 대한 이론적 고찰

2.1 선행연구 고찰

보수·보강 기준 및 매뉴얼과 관련한 선행연구에 대하여 고찰하였다. 한국건설기술연구원에서는 콘크리트 교량의 주형과 바닥판에 한정하여 보수·보강을 적용할 때 고려하여야 할 기본적인 조사방법, 조사항목 및 원인추정, 보수·보강여부의 판정 및 요구 성능에 적합한 보수·보강공법을 선택하는데 필요한 기본적인 절차 및 관련 규정들에 대해 제시하고 있다(Korea Institute of Construction Technology 2003). 한국시설안전공단에서도 철근 및 프리스트레스트 콘크리트에 발생하는 균열의 발생원인 및 누수원인 분석, 균열조사, 균열평가, 보수·보강여부의 판정, 재료, 공법, 사후 평가에 대한 규정 등을 포함하는 시방서와 교각 코핑부, 터널의 안전성 평가 및 보수·보강에 대한 매뉴얼과 편람을 제시하였다(Korea Infrastructure Safety Corporation 1999, 2004, 1996).

구조물의 보수·보강과 관련한 매뉴얼 또는 기준에 관한 선행연구는 정부출연기관 등에서 이미 오래전부터 연구가 진행되어 왔다. 학회나 민간부분에서도 구조물의 보수·보강과 관련된 연구들은 많지만 실제적으로 이러한 연구결과 등을 반영하여 보수·보강과 관련된 기준에 적용한 사례는 거의 없는 상태이다. 한편 한국도로공사에서는 자체적인 기준 및 매뉴얼을 이용하여 고속도로 시설물의 보수와 보강공사에 적용하고 있으며(Korea Expressway Corporation 1997) 콘크리트 구조물에 발생하는 누수 균열에 대한 이해와 보수재료 선정을 위한 지침의 제안 연구가 진행된 바 있다(Oh, 2010). 일부에서는 이러한 규정을 참조하여 일반적인 시설물에도 적용하고 있지만 구조물의 고유한 특성을 고려하여 적용하기에는 문제점이 있는 것이 현실이다.

선행 연구 조사 결과 보수·보강 기준 및 매뉴얼과 관련된

연구는 아직 제한적이고 과거에 기본적인 연구를 진행하였지만 이러한 연구 결과가 실제적으로 기준 및 매뉴얼에 반영된 사례는 거의 없는 것으로 나타나 보수·보강 기준 마련에 대한 연구는 시기적절한 연구라고 할 수 있다.

3. 국내외 보수·보강 기준의 현황

시설물 보수·보강 기준 작성의 방향 제시를 위한 참고 자료의 선정에 있어 Table 1과 같이 미국, 일본, 유럽, 국내에서 공식, 비공식적으로 수행한 연구 자료와 발간된 자료를 수집하여 내용을 검토한 뒤 이 중에서 기준 마련에 적합한 자

료를 선정하였다. 자료의 선정에 있어 고려한 사항은 내용 구성에서 재료, 시공, 검사를 항목으로 하여 구성, 절차, 한계 범위, 적합성 등의 내용을 포함하고 있는지의 여부를 주요 사항으로 하였다.

특히, 재료의 품질기준, 시공 후의 성능평가에 있어서 정량적인 항목과 범위를 크게 고려하였다. 이는 보수·보강 공사와 관련하여 재료 및 시공 평가에 있어서 정량적인 성능평가가 없어 지속적인 하자 발생의 원인과 유지관리의 비효율적인 문제점 발생의 원인으로 분석되기 때문에 이러한 부분을 고려하였다. 기본적인 자료 조사 및 세부적인 내용 분석 결과 미국콘크리트학회의 ‘Concrete Repair Manual’, 일본토목

Table 1. Data surveyed for research

Country	Organization	Kinds of manual and guide
U.S	ACI	• Concrete Repair manual
	FHWA	• Manual for design, construction, and maintenance of orthographic steel bridges • Guide for heat-straightening of damaged steel bridge members • Materials and procedures for sealing and filling in asphalt-surfaced pavements • Materials and procedures for rapid repair of partial depth spalls in concrete pavements • Materials and procedures for repair of joint seals in portland cement concrete pavements • Materials and procedures for repair of potholes in asphalt surfaced pavements • Guide for curing of portland cement concrete pavements • Evaluation of procedures for quality assurance specifications • Optimal procedures for quality assurance specifications • Highway and rail transit maintenance and rehabilitation Manual
	AASHTO	• Inspector's guide for shotcrete repair of bridges • Guide specifications for shotcrete repair of highway bridges • Maintenance manual for roadways and bridges • Technical manual for design and construction of road tunnels-civil elements
Japan	JSCE	• Guide for the design and construction of surface protection method • Strengthening guide of concrete structures
	JCI	• Practical guideline for investigation, repair and strengthening of cracked concrete structures
	MLIT	• Repair and strengthening manual of the pier and abutment structures of road bridge deterioration due to alkali-aggregate reaction
	CAESAR	• Design and construction manual of the existing steel deck with packaging SFRC
	Nagasaki county	• Manual of repair and strengthening for bridges • Manual of repair and strengthening for road tunnel
	JPDCA	• Strengthening manual of concrete bridges by external cable method
	JBA	• Safety guide of repair and strengthening construction • Repair and strengthening construction guide for bridge bearing
	RTRI	• Manual of repair and strengthening for tunnel
	GFRA	• Manual of repair and remodeling for tunnel
EU	BSI	• EN 1504
Korea	FMA	• Design standard of repair and strengthening for facilities
	LH	• Handbook of repair and strengthening for structures

ACI : American Concrete Institute

FHWA : Federal Highway Administration

AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials

JSCE : Japan Society of Civil Engineers

JCI : Japan Concrete Institute

MLIT : Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

CAESAR : Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

JPDCA : Japan Prestressed Concrete Contractors Association

JBA : Japan Bridge Association

RTRI : Railway Technical Research Institute

GFRA : Geo Fronte Research Association

BSI : British Standards Institution

FMA : Korea Facilities Maintenance Association

LH : Korea Land & Housing Corporation

Table 2. Concrete repair manual - ACI

Section	Contents
General	Concrete repair terminology, vision
Condition Evaluation	Guide for condition survey, evaluation, diagnosis, investigation, assessment, analysis
Concrete Restoration	Materials for repair, preparation, Application method
Contractual	Guide for methods of measurement and contract type
Strengthening	Guide for the selection of strengthening system
Protection	Guides to surface treatment, cleaning, remove and prevent of efflorescence, testing, corrosion management
Special Case	Assessment and repair of fire-damaged concrete, underwater repair, etc

학회의 ‘표면보호공법설계시공지침(안)’, ‘콘크리트구조물보강지침(안)’, 일본 지오프론테연구회의 ‘터널보수·개축매뉴얼(안)’을 그리고 유럽의 ‘EN 1504’, 그리고 국내의 지침(구조물보수·보강편람, 시설물보수·보강설계지침)이 보수·보강에 대한 설계 및 시공, 재료의 품질, 검사 등의 다양한 내용을 포함하고 있어 이를 선정하였다.

3.1 미국의 보수·보강 기준 및 매뉴얼의 현황

미국에서는 교량, 댐, 터널 등의 사회기반시설의 유지, 보수·보강과 관련된 가이드 및 시스템은 미국콘크리트학회, 국제콘크리트보수학회, 및 주정부기관 등에서 자체적 또는 상호 유기적으로 보수·보강과 관련된 기준 등을 제정 및 사용하고 있다. 대표적인 것으로는 ‘Concrete Repair Manual’로서 콘크리트 보수의 광범위한 정보를 제공하고 있으며 콘크리트와 관련한 기관에서 발간한 다양한 정보도 포함한다. 이 중 콘크리트 보수·보강과 관련한 정보인 ACI 546-R은 콘크리트 보수 프로젝트에 접근하기 위한 기초를 제공하며 매뉴얼의 핵심내용이다. 매뉴얼의 주된 내용을 Table 2에 나타내었으며 2013년에 4th edition이 발간되었다.

3.2 일본의 보수·보강 기준 및 매뉴얼의 현황

일본에서도 미국과 유사하게 일본토목학회, 콘크리트공학협회, 일본PC건설업협회 등에서 콘크리트와 관련한 지침 또는 매뉴얼 등을 제시하고 있고 정부기관인 국토교통성, 토목연구소의 구조물유지관리센터 및 철도총합기술연구소에서도 시설물의 유지관리와 관련된 지침 등을 지속적으로 발간 및 개정해 배포하고 있다. 일본토목학회의 경우 분야별로 출간하는 도서를 Library로 분류하여 다양한 지침(안)을 제공하고 있다. 이중 콘크리트의 보수·보강과 관련된 지침 또는 매뉴얼로는 2005년에 발간된 ‘표면보호공법설계시공지침(안)’과 1999년에 발간된 ‘콘크리트구조물의 보강지침(안)’이 있는데 이들 지침에서는 콘크리트의 보수·보강공법과 관련하여 표면보호공법 및 보강과 관련된 설계, 시공, 공법, 검사 및 유의사항 등에 대한 내용을 기술하고 있다. 지침의 주된 내용을 Table 3~Table 4에 각각 나타내었다.

Table 3. Guide for the design and construction of surface protection methods - JSCE

Section	Contents
General	Range, terminology
Organic coating method	General, types of method, performance, design, construction, inspection, maintenance
Inorganic coating method	
Surface penetration method	
Restoration method	

Table 4. Strengthening guide of concrete structures - JSCE

Section	Contents
General	Range, terminology
Basis of strengthening	General, flow of strengthening, performance of structure by time-elapses change
Material	General, materials of existing structures, material quality, material and design value
Condition	Formation of load and environment, load factor
Inspection	General, types of inspection
Performance examination of structure	Index of examination
Selection	Classification of strengthening on concrete element
Consideration of design and construction on strengthening structure	Unification of exist element and strengthening part, prevention of weathering in service life
Performance inspection of exist structure	General, Safety inspection, usability inspection, recovery inspection

Table 5. Repair and reconstruction manual of tunnels - GFRA

Section	Contents
Range, terminology	Purpose and range, terminology
Diagnosis	Investigation, prediction, evaluation
Repair, strengthening method	Design of method, selection of method, detailed explanation of method
Reconstruction method	Purpose and classification of reconstruction method, etc

한편 터널분야에서는 철도총합기술연구소가 1990년에 터널 보수·보강 매뉴얼을 발간하여 터널의 유지보수 실무에 제공해 왔고 이후 2007년에 개정판을 발간하였다. 또한 지오프론테연구회와 신기술상호활용분과회가 공동으로 2004년과 2006년에 발간한 터널 ‘진단편’과 ‘대책편’과 관련하여 발주자, 시공자가 계획, 설계, 시공 및 유지관리에 있어서 흐름의 파악을 위해 구조, 공법, 예측기술, 보수·개축공사의 설계와 시공에 관한 내용을 포함하는 ‘터널의 보수·개축 매뉴얼(안)’을 발간하였고 주된 내용을 Table 5에 나타내었다.

3.3 유럽의 보수·보강 기준 및 매뉴얼의 현황

2009년 1월부터 콘크리트 보수 및 보호를 위한 이전의 영

Table 6. Contents of EN 1504 - BSI

Section	Contents
EN 1504-1	Describes the terminology and definitions within the Standard
EN 1504-2	Provides specifications for surface protection products and systems for concrete
EN 1504-3	Provides specifications for the structural and non-structural repair
EN 1504-4	Provides specifications for structural bonding
EN 1504-5	Provides specifications for concrete injection
EN 1504-6	Provides specifications for the anchoring of reinforcing bars
EN 1504-7	Provides specifications for steel reinforcement corrosion protection
EN 1504-8	Describes the quality control and evaluation of conformity for the manufacturing companies
EN 1504-9	Defines the general principles for the use of products and systems, for the repair and protection of concrete
EN 1504-10	Provides information on site application of products and quality control of the works

국과 유럽 국가 표준은 모두 EN 1504로 교체되었다. EN 1504에는 코팅, 모르타르, 접착제 그리고 주입재 등을 포함하는 보수재료의 재료특성과 시방서를 위한 시험방법 등을 포함한 총 10개 부분으로 되어 있으며 보수 작업을 위한 원리와 현장적용, 시스템 및 시험에 대한 기준을 포함하고 있다. EN 1504의 기준에서 각각의 문서들은 Forward, Introduction, Scope of the document, Normative references로 구성되어 있으며 주로 재료의 성능 및 품질 등에 관한 내용이 많으며 섹션별 내용을 Table 6에 나타내었다.

3.4 한국의 보수·보강 기준 및 매뉴얼의 현황

국내에서 보수·보강과 관련된 연구는 1990년대 후반부터 많은 연구가 진행되어 왔지만 외국과 같이 체계적인 기준으로 이어진 사례는 없고 대한주택공사(현 토지주택공사, LH)에서 2000년에 시공 중 또는 완공된 시설물의 유지관리 시 발생할 수 있는 결함을 보완하기 위하여 건설현장 및 기존 시설물에 대한 점검을 통해 축적된 자료를 바탕으로 내부적인 사용을 위해 Table 7에 나타난 ‘구조물 보수·보강 편람’을 작성하였다. 시설물유지관리협회에서도 2008년에 기존 시설물의 유지관리를 위해서 실시되는 보수와 보강공사 설계에 적용하기 위한 연구를 실시하여 Table 8에 나타난 ‘시설물 보수·보강 설계지침’을 작성한 사례가 있다. 이들 자료는 기존 자료를 일부 발췌, 번역 또는 편집하여 기술한 것으로 보수·보강 설계 시 사용되는 재료에 대해 KS재료의 품질기준을 적용하고 있지만 일부 재료의 한정 또는 비공식적으로 되어있어 이러한 지침을 사용하는데 무리가 있다.

또한 시공과 관련한 부분에서도 공법별로 시공계획 및 시공절차에 대해 기술적 근거를 제시하고 있지만 공사품질의

Table 7. Repair and strengthening guide of structures - LH

Section	Contents
Repair and strengthening method of ground	Summary, L.W method, S.G.R method, urethane injection method, J.S.P method, micropile method, compaction grouting method, summary of stabilized slope, drain, cut-slope, vegetation, grid block, retaining wall, shotcrete, anchor, stabilized pile, concrete panel
Repair and strengthening method of concrete structures	Summary, general of crack, surface coating method, desalt refrete method, resin injection method, FRP bonding method, carbon fiber bonding method, steel plate bonding method, girder increasing method, section increasing method, replace method, steel bar corrosion prevention method
Repair and strengthening method of steel structures	Summary, types of damage, design of repair and strengthening, welding and joining, bolt joining, element joining using pc steel bar, girder and column increasing method, allowable stress of steel structure
Consideration in repair and strengthening design	Effect on existing element, consideration of construction condition, consideration of load condition, understanding specification of material, inspection, measurement, certification on effect of repair and strengthening, view

Table 8. Design guide for repair and strengthening of facilities - FMA

Section	Contents
General	Range, standard and law associated
Common factor	General, material, quality standard and test method
Repair guide of structures	Common factor, general, design guide of concrete repair, design guide of steel structure
Strengthening guide of structures	General, common factor, concrete structure, steel structure
Repair and strengthening guide according to facility types	Reinforced concrete building, steel structure building, masonry building, bridge, tunnel, dam, port facility, foundation

확인을 위한 합리적이고 타당한 근거가 없어 명확한 품질의 성능평가가 곤란한 것이 현실이다. 따라서 이러한 설계와 시공 부분에서의 정량적인 성능평가의 판단 기준 근거를 조속한 시일 내에 마련하는 것이 필요하다고 판단된다.

4. 국내외 보수·보강 기준의 단계별 구성 고찰

국내외 보수·보강 기준 및 매뉴얼에 대한 분석의 방향은 각 기준 및 매뉴얼을 구성하고 있는 내용의 구성 체계를 설계, 시공, 검사의 3단계로 분류한 뒤 내용 및 항목별 구성에 대한 분석을 실시하였다.

4.1 보수·보강 설계 단계

보수·보강 설계 단계는 보수·보강 프로젝트의 성공 여부를 결정짓는 중요한 작업으로 구조물이나 시설물에 발생한 손상, 결함, 열화 그리고 비정상적인 상태의 원인을 정확히 파악한 후 요구하는 성능을 만족할 수 있도록 설계를 하여야 한다. 기본적인 설계 단계는 조사 및 평가, 기본 설계, 실시 설계의 단계를 거치고 설계 방법의 절차는 구체적인 목표·조건의 설정, 적용 공법을 선정하여 이와 관련한 내용이 포함될 필요가 있다. 설계 단계에서는 설계를 위한 조사를 기반으로 공법의 선정, 시공범위 결정, 적용공법 사양 결정 및 시공 방법을 선정하고 성능조사에 의해 결정된 사항의 적용 가능성 또는 불가능성을 판정하여야 하며 이를 위해서는 구조물 또는 시설물에 대한 현지조사 및 설계도서에 대한 조사를 실시하는 것이 필요하다. 설계 단계에서의 분류는 구조물에 대한 조사 및 방법, 공법의 선정, 재료 및 공법 사양의 설정, 시공범위의 결정, 시공방법의 선정, 성능조사 등이 있으며 Table 9에 설계 단계에서 고려하여야 하는 가이드 구성을 분류하였다.

Table 9에서 보면, 터널의 보수, 보강 매뉴얼인 D와 유럽의 EN 1504 매뉴얼인 E, 그리고 국내의 F를 제외하고는

Table 9. Comparison of guide content (design process)

Item	A	B	C	D	E	F	G
Terminology	○	○	○	○	○	○	○
Environmental condition	○	○	○	-	-	-	○
Shape of structure	○	○	○	-	-	○	○
Use situation	○	○	○	-	-	○	○
Environment of element	○	○	○	-	-	-	-
Classification of maintenance	-	○	-	-	-	-	-
Weather condition	○	○	-	○	-	○	-
Remained service life	-	○	○	-	-	-	○
Repair and strengthening record	-	○	-	-	-	-	-
Etc circumstance	-	-	○	-	-	-	-
Performance of method and material	○	○	○	-	○	-	○
Field investigation	○	○	○	○	-	-	-
Exterior investigation	○	○	○	-	-	○	-
Concrete investigation	○	○	○	-	-	-	○
Steel investigation	○	○	○	-	-	-	○
Decision of method	○	○	○	○	-	-	○
Decision of range	○	○	○	○	-	-	○
Publications (design, maintenance, etc) review	○	○	○	-	-	-	-

A : Concrete repair manual (USA)

B : Guide for the design and construction of surface protection methods (Japan)

C : Strengthening guide of concrete structures (Japan)

D : Repair and reconstruction of tunnels (Japan)

E : EN 1504 (EU)

F : Repair and strengthening guide of structures (Korea)

G : Design guide for repair and strengthening of facilities (Korea)

전반적으로 설계 단계에서 고려하여야 하는 내용을 포함하고 있다. 특히 미국과 일본의 기준 또는 매뉴얼에 포함되어 있는 설계 단계에서의 내용이 많은 항목에서 서로 유사한 것을 알 수 있었다. 미국 기준인 A에서는 보수·보강의 설계 과정에 대한 전반적인 내용을 포함하고 있어 종합적인 면에서는 일본의 지침보다는 많은 내용을 포함하고 있지만 설계 단계에서의 조사 항목 및 내용면에서는 일본 지침 중에서 보수 영역에 해당하는 내용을 포함하고 있는 B의 내용이 보다 자세하고 체계적인 것으로 나타났다.

4.2 보수·보강 시공 단계

시공 단계는 구조물에 공사를 시행하는 것으로 직접적인 영향을 주는 매우 중요한 단계이다. 시공 단계에서도 설계 단계와 같이 많은 부분에 대한 고려사항과 내용의 검토가 필요하다. 시공의 경우에는 설계 내용을 고려하여 시공을 위한 조사 및 시공 계획을 수립하게 되는데 조사에서는 설계의 취지를 이해하고 효율적이고 확실한 시공이 이루어지도록 하여야 한다.

조사에서는 크게 구조물의 현상에 관한 항목과 시공조건에 관한 항목 조사가 필요하다. 구조물의 현상에 관한 항목으로는 구조물의 사용 상황(하중, 교통량, 진동), 열화 기구, 정도와 범위, 구조물의 물성 및 치수가 있고 시공조건에 관한 항목으로는 시공 장소의 입지 조건·위치(지상, 수중, 근접 구조물의 유무 등)와 공해 등의 환경제약(소음, 먼지, 오염), 시공 시의 규제(교통규제, 우회로), 시공방법·시간의 제약(재료 등의 반입로, 가설대비, 작업시간대, 시공시기, 날씨, 고소 작업의 유무, 전도·비산의 안전성), 공사 실시에 대한 주변 알림 등이 요구된다.

시공계획에서는 조사결과를 바탕으로 현장시공조건, 제약조건 등을 파악하고, 현장에 맞는 시공계획을 수립한다. 시공계획에는 일반적으로 공사의 개요, 시공위치, 공정표, 현장조직표, 주요시공 기계 및 설비, 시공방법, 품질관리, 안전관리, 긴급 시 체계, 환경대책, 교통규제 대책 등을 고려하여야 한다. 시공계획에 의한 공사는 안전성이나 환경에 대한 영향 등도 배려하고 이를 위해서는 시공 전에 표준적인 시공 순서나 방법 등과의 대조 등을 확인하고 공사 중에 예상되는 여러 가지 변동 사항에 대한 계획 또는 예비의 대책이 포함되는 것도 중요한 항목이라 할 수 있다.

Table 10에서 보면, 설계 단계와 유사하게 콘크리트 보수의 내용을 포함하고 있는 일본의 B가 시공 단계에서도 다양한 고려사항, 관리항목 등의 내용을 다루고 있다. B가 다른 가이드에 비해 시공 단계에서도 다양한 내용을 포함하고 있는 것은 콘크리트의 보수가 대부분의 시설물의 유지관리 측면에서 가장 많이 차지하고 있고 내용면에서도 지침에서 제안한 공법에 따라 고려하여야 하는 항목이 많기 때문인 것으로 사료된다. 미국 기준인 A도 보수와 보강 공사의 시공에 대한 부분을 포함하고 있지만 B에 비하여 제한하고 있는 공법의 종류 및 시공법에 대한 내용이 제한적인 것으로 나타났다. 한편 유럽 기준인 D와 국내에서 작성된 F와 G는 시공 부분에서는 다른 기준과 달리 내용이 시공방법 및 품질에 관련된

Table 10. Comparison of guide content (construction process)

Item	A	B	C	D	E	F	G
Use situation	-	○	○		-	-	-
Weather mechanism	○	○	-	○	-	○	-
Weather circumstance and range	○	○	-	○	-	-	-
Dimension of structure	-	-	-	-	-	-	-
Condition of location	○	○		-	-		-
Environmental limit (noise, vibration, dust, pollution)	○	○	○	○	-	-	-
Limit of traffic	-	○	-	-	-	-	-
Limit of method and time (material carrying, working time, climate, height work, etc)	-	○	-	○	-	-	-
Notification of neighbor	-	○	-	-	-	-	-
Construction work summary	-	○	-	-	-	-	-
Construction site map	-	○	-	-	-	-	-
Progress schedule	-	○	-	-	-	-	-
Main equipment	○	○	-	○	-	-	-
Organization diagram	-	○	-	-	-	-	-
Construction method	○	○	○	○	-	○	○
Management after work	-	○	-	-	-	-	-
Quality management	○	○	○	-	○	-	-
Safe management	-	○	-	○	-	-	-
Emergency system	-	○	-	-	-	-	-
Environment measures	-	○	-	-	-	-	-
Temporary construction plan	-	○	-	-	-	-	-
Traffic limit	-	○	-	-	-	-	-
Recording construction work	-	○	-	-	-	-	-

일부 항목을 제외하고는 거의 없는 것으로 나타났다.

4.3 보수·보강 검사 단계

보수·보강 검사 단계는 시공된 보수·보강이 요구 성능을 충족하는지를 확인하기 위해서 적절한 검사 절차가 요구된다. 검사 단계를 크게 분류하면 설계 단계에서 선정한 공법에 필요한 재료의 성능 및 품질을 확인하는 재료검사, 시공의 각 공정에 있어서 시공환경의 영향 등을 포함시켜 시공 중의 재료 및 부재의 상태를 확인하는 동시에, 정해진 시공 범위에서 실시하는 시공검사, 시공이 종료된 후 시공 공법이 요구 성능을 충족하고 있는 것을 확인하는 완료 검사로 구분할 수 있다. 검사 결과 후에 불량한 부위 또는 개소 등에 이상이 확인된 경우에는 적용한 공법에 대한 적절한 처리방법을 협의 후 신속하게 이상이 있는 부위 또는 부재의 수정을 실시하게 할 필요가 있다.

검사가 완료된 후에는 적절한 유지관리를 위해 검사의 결과 기록, 보존하여야 하는데 이러한 검사의 기록은 구조물의 효율적이고 합리적인 유지관리를 위한 데이터베이스 혹은 기초자료가 되는 것이므로, 유지관리를 계속해서 할 필요가

Table 11. Comparison of guide content (investigation process)

Item	A	B	C	D	E	F	G
Investigation of material	○	○	○	-	○	-	-
Confirm process for material quality	○	○	-	-	○	-	-
Submit about certificate of material quality	○	○	-	-	-	-	-
method of proving material quality	○	○	○	-	○	-	○
Process of investigation about construction work	○	○	-	-	-	-	-
Investigation method and items of range about construction work	○	○	-	-	-	-	-
Investigation method and item before construction work	○	○	-	-	-	-	-
Investigation method and items after construction work	○	○	○	-	○	-	-
Method and item of completion investigation	○	○	-	-	-	-	-
Document investigation	○	○	-	-	-	-	-
Field investigation	○	○	○	-	-	-	-
Disposition after completion investigation	-	○	-	-	-	-	-

있는 동안에는 검사 기록을 보존하는 것이 필요하다. 또한 공용기간이 지난 후에도 유사한 다른 구조물의 유지관리에 도움이 되게 하는 것을 목적으로 검사기록을 계속해서 보존하는 것이 바람직하다.

검사 기록은 원칙적으로 될 수 있는 한 정확하고 객관적인 데이터를 기입하고 검사가 정해진 방법과 절차로 수행될 수 있도록 하며 검사의 종류, 내용 및 구조물의 종류를 참고하여 이해하기 쉬운 데이터 쉐트화와 함께 수량 등의 확인을 위한 기록 수단으로서 사진에 의한 기록 등에 대한 부분을 포함하는 것도 필요하다.

Table 11에서 보면 검사 단계에서 A와 B가 재료검사, 검사의 방법, 시공 전, 후의 검사 프로세스, 방법 등 대부분의 내용을 포함하고 있다. 특히 검사의 단계에서 시공 후의 검사에 대한 내용은 구조물의 보수·보강 후의 성능 검증 및 사용연한, 유지관리 측면에서 중요하게 작용하는 내용으로 검사의 항목 및 평가방법 등에 대해 연관된 기준, 코드, 등급에 대한 정량적인 값을 상세히 제공하고 있다. 반면에 C, D, E, F, G에서는 검사에 대한 일부 단편적인 내용만을 제공하고 있다.

4.4 분석결과 종합

국내의 기준과 매뉴얼을 구성 및 내용측면에서 설계, 시공, 검사의 3단계로 분류하여 분석한 결과, 기준과 매뉴얼의 작성 목적이나 대상에 따라 적용범위, 항목, 내용 등에 있어 많은 차이가 있는 것으로 조사되었다. 이는 기준 및 매뉴얼을 작성한 기관 또는 단체에서 적용하고자 하는 구조물의 대

상과 목적 그리고 용도, 환경 등의 차이가 있기 때문이다.

조사, 분석한 자료 중에서 설계, 시공, 검사 단계별 내용을 골고루 포함하고 있는 것은 미국의 A, 그리고 일본의 B로 나타났다. 이들 자료가 다른 기준 또는 매뉴얼과 다른 것은 체계적인 보수·보강에 대한 내용을 포함하고 있어 프로젝트 수행 단계 및 기술에 따른 요소의 적용에 대한 검토를 진행할 수 있는 내용을 단계별로 제공하고 있다. 이는 유럽 기준이 품질성능에 국한된 점, 국내의 C와 D의 경우, 특정 구조물에 국한된 점과 지반, 콘크리트, 강재 구조물의 보수·보강에 대하여 포괄적이고 개략적인 내용만을 제시하고 있는 것과는 달리 A와 B의 경우 보수·보강 목표를 달성하기 위한 전반적인 체계 확립과 관련된 프로세스의 정보를 제공하는데 중점을 두고 있기 때문으로 판단되며 향후 기준 마련을 위한 방향 설정 시 A와 B를 벤치마킹할 필요가 있는 것으로 사료된다.

5. 보수·보강 기준 작성 방향 제시

앞에서 보수·보강과 관련된 매뉴얼 등에 대해 내용의 구성 및 특성을 중심으로 분석을 수행하였다. 검토, 분석한 내용에서 보수·보강 기준(안) 작성 방향의 주안점으로 설정한 것은 재료의 품질기준과 시공 후의 정량적 평가에 관한 항목 및 내용이다. 미국, 유럽 및 일본의 기준은 대부분 정량적 평가체계를 기본적으로 포함하고 있어 이러한 체계를 국내 실정으로 고려하여 적용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

시설물 보수·보강 기준(안)의 내용 구성은 기존 사례 등을 참조하여 크게 설계기준과 시공기준으로 분류하여 작성하는 것으로 기본 방향으로 정하고 시설물의 종류에서는 우선적으로 토목시설물 중에서 교량과 터널을 선정하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 보수·보강 기준의 내용 구성은 이미 제정

된 국내의 설계기준을 참고하고 총칙 및 일반사항, 구조물의 재료 및 형식에 따른 보수·보강공법의 설계, 시공 및 품질 관리의 내용은 위에서 분석한 A와 B를 롤모델로 하여 구성하는 것이 적절한 것으로 판단되며 이를 토대로 방향을 설정한 기준의 주된 내용을 Table 12에 나타내었다. 기준의 내용 구성에 있어 가장 크게 고려한 사항은 정량적 성능 평가에 관련된 것으로 설계기준에서는 재료의 품질기준을, 시공기준에서는 시공 후의 공사 품질성능평가이다.

5.1 총칙 및 일반사항

총칙에서는 보수·보강 설계 및 시공기준의 목적, 기준의 적용범위, 사용 용어 및 구성에 대하여 정의한다. 일반사항에서는 시설물의 보수와 보강 계획 및 실시에 있어 설계 및 시공의 원칙, 절차, 방법, 업무, 재료의 정의, 품질기준 및 시험방법 등을 기술한다.

품질기준 및 시험방법에서는 보수·보강에 사용되는 재료의 요구 성능과 용도별 특성값을 고려하여 품질기준의 만족성을 제시하고 이들 재료의 규격 및 시험방법에 대해서도 기술한다. 또한 유지관리를 행하기 위하여 보수·보강공법의 설계 및 시공의 기록방법도 제안한다.

5.2 보수·보강공법의 설계, 시공

보수·보강공법의 설계에서는 공법의 적용범위, 종류, 요구 성능, 재료의 품질을, 시공에서는 시공절차, 품질관리를 기술한다. 설계에서 공법의 적용범위와 종류는 발주자 및 시공자가 공법의 설계와 시공에서 체계적이고 전문적인 기술이 많지 않은 상태에서 시설물에 적합한 공법의 선택과 적용 과정에서 오류가 발생할 수 있고 이를 다시 변경하고 보완하는 일련의 과정들은 매우 비효율적이다. 따라서 보수·보강공법 종류의 특성에 대해 명확한 정의를 제안하여 사전에 미리 발생할 수 있는 문제점을 파악하고 문제 발생 전에 이를 조치할 수 있도록 공법의 적용 및 종류의 선택 단계에서 이를 수행하는 것이 업무의 효율성 측면에서 바람직할 것으로 판단된다.

요구 성능에서는 선택한 공법을 시설물에 적용하여 성능을 구현하기 위해 요구되는 조건, 기준 등을 정량적으로 측정 가능한 형태로의 변환 및 이에 대한 명확한 표현으로 구조물의 성능을 유지할 수 있는 기본공통적인 요구 성능과 대상 시설물의 형식, 구조, 환경조건 등의 적용대상에 따른 구분과 정의가 필요하다. 재료의 품질에서는 적용공법에 사용되는 재료의 사용 이전에 발주자 및 시공자가 사전에 재료의 품질을 확인하는 것으로 발주를 거쳐 설계에 활용한다. 재료의 품질 기준에는 수치화된 자료를 근거로 품질을 확인하는 것으로 발주를 거쳐 설계에 활용한다. 재료의 품질기준에는 수치화된 자료를 근거로 구분할 수 있어야 하며 재료의 품질성능을 정확하게 표시하기 위해서는 어떤 특성을 측정할 것인가가 매우 중요하게 작용한다. 여기에는 관련 법규, 설계기준 및 시방서 등의 기준에 부합하는 체계적인 조건을 충족하여야 하며 품질기준을 판단하는데 있어 정량적인 수치로 제시한 근거에 재료의 요건이 충족하는지의 판단 근거가 될 수 있다.

Table 12. Contents of standard proposed

Division	Section	Contents
Design standard	General	Purpose, range, application, terminology, unit, composition
	Common factor for design	Design principle, process, material, test quality standard and method, record of design
	Material (concrete, steel)	Range, material, types of method, application, performance
	Facility (concrete, steel, bridge, tunnel)	Range, material, types of method, application, performance
Construction standard	General	Purpose, range, application, terminology, unit, composition
	Common factor for construction	Construction principle, application
	Material (concrete, steel)	Range, types of method, material, construction, quality management
	Facility (concrete, steel, bridge, tunnel)	Range, types of method, material, construction, quality management

정량적인 수치를 요구하는 재료의 품질성능 제안에서 가장 우선적으로 고려한 것은 국내의 재료 품질 및 제조업체 등의 국내 현실을 고려하여 최소한으로 KS에서 규정하고 있는 각종 재료의 품질기준을 선택하였고 국내에 없는 일부 재료 또는 세부적인 품질성능에 대한 내용 등은 조사 및 분석한 외 국자료의 내용을 제안한다.

또한 여기에서 제안하고 있는 공법은 보수·보강 공사 시 새로이 개발된 신기술 보다는 과거부터 오랫동안 사용된 대표적인 공법들을 제안하여 설계자 및 시공자의 적용 및 사용에 편리성을 도모하고자 한다. 시공절차는 보수·보강 시 선택한 공법을 진행하는데 있어 절차의 정의 및 프로세스가 필요하며, 대상 재료 및 시설물에 대한 사전조사 결과를 바탕으로 시공계획의 수립에 의거하여 시공절차를 수행하며 이때 시공관리를 병행하여 실시한다. 이는 시공의 완성도, 품질관리 등의 시공 작업과 연계하여 정의할 수 있다.

시공 후의 품질을 검증하는 방법에서는 사전에 품질 확인을 위한 조건이나 규칙 등을 준비하여야 한다. 시공 완료 후 검사를 통해 품질을 검증하는 과정에서 발생하는 정성적 평가방식은 시공품질의 부정확성을 명확하게 찾아내기 어렵고 문제점 발견에 따라 다시 이를 보완하고 품질 검증을 수행하여야 하는 이러한 과정은 매우 비효율적이다. 따라서 선택한 공법의 설계 및 시공단계에서는 많이 발생하는 부적절한 재료의 선택을 배제하기 위해 정량적인 재료의 품질기준과 함께 시공품질의 성능평가를 실시하므로 업무의 효율성을 높일 수 있다.

6. 결 론

국내의 시설물은 사용기간의 증가에 따른 성능저하로 인하여 보수·보강에 투입되는 비용이 매년 증가하고 있는 추세이며, 성능이 저하된 구조물을 적절히 보수·보강하여 공용 사용기간을 연장시키거나 구조물의 성능 등급을 향상시키면 기존 구조물을 교체 또는 개축하는 비용에 비해 상당한 비용 절감의 효과가 있다. 이와 같은 배경에서 본 연구에서는 합리적이고 신뢰성이 있는 보수·보강 기술의 향상과 이를 뒷받침 할 수 있는 보수·보강 기준 마련을 위한 방향 제시를 위하여 국내의 보수·보강 기준 및 매뉴얼에 대한 내용 구성을 중심으로 비교, 분석하였으며 그 결과를 다음과 같이 정리하였다.

- 1) 국내의 보수·보강 기준을 분석한 결과 각 기준 또는 매뉴얼의 작성 목적과 적용대상, 범위 등에서 차이는 있으나 기본적으로 보수·보강의 적용범위, 절차, 방법 등에 대하여 정의하고 있는 것으로 나타났다.
- 2) 각 기준과 매뉴얼을 설계와 시공 부분으로 분류하여 분

석한 결과 설계 단계에서 진행되는 프로세스에서는 미국과 일본의 지침이 상세하게 분류하고 있으며 특히 재료의 품질성능에 대해서 명확하게 제시하고 있고 시공 단계에서의 절차, 방법, 고려 사항에서는 일본의 지침이 다른 것에 비해 자세하게 분류하고 있는 것으로 조사되었다.

- 3) 국내의 기준 및 매뉴얼 분석 결과를 바탕으로 보수·보강 기준의 내용 구성에는 기존의 기준 등을 고려하여 크게 보수·보강 설계 및 시공에 대한 총칙, 일반사항과 적용 공법의 종류와 절차, 재료품질기준, 품질관리 등에 대한 항목을 중심으로 보수·보강 기준을 마련하는 것을 제안한다.
- 4) 본 연구에서 제안하고 있는 보수·보강 기준(안)의 항목에서 재료의 품질성능과 시공 후의 품질관리에 대해서는 향후 보다 구체적인 평가와 관련 연구가 필요할 것으로 판단되며 시설물의 유지관리 측면에서 이번 연구를 통해 보수·보강 공사의 생산성 및 품질 향상의 기초가 될 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 “시설물 보수보강 시공기준 마련을 위한 연구” 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Inoue *et al.* (2005) Cement Journal, Maintenance and deterioration of concrete book Plus, pp. 7.
- Korea Institute of Construction Technology (2003) Development of repair and rehabilitation material qualities and methods evaluation standard of reinforced concrete bridges.
- Korea Infrastructure Safety Corporation (1999) Development of special specifications of crack evaluation method, repair, strengthening on concrete structures.
- Korea Infrastructure Safety Corporation (2004) Study on the repair, strengthening plan and safety evaluation of pier coping.
- Korea Infrastructure Safety Corporation (1996) Repair and strengthening manual of tunnel.
- Korea Expressway Corporation (1997) Structure repair and strengthening manual.
- Oh, S.K. (2010) A Study on Guidelines for the Repair of Water-Leakage Cracks in Concrete Structures, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 10, No. 6, pp. 97-107.

© Received February 6, 2013

© Revised February 7, 2013

© Accepted March 11, 2013