

가치공학적 방법을 활용한 해상장대교량의 유지관리 고도화 전략 수립 연구

박경훈*, 선종완
한국건설기술연구원 구조연구본부

A Study on Advanced Management Strategy for Long-span Bridges across the Sea using Value Engineering Method

Kyung-Hoon Park*, Jong-Wan Sun
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 본 논문에서는 최근 급격하게 증가되고 있는 해상장대교량의 유지관리를 고도화하기 위해 필요한 연구개발 주제들을 도출하고 우선순위를 정의하였다. 이를 위해 가치공학(Value Engineering) 기법의 작업계획을 준용하여 준비 및 분석 단계를 수행하였다. 해상장대교량 유지관리 고도화를 위한 평가속성에 따라 평가항목을 결정하고, AHP (Analytical Hierarchy Process) 기법을 적용하여 평가항목별 가중치를 결정하였다. 또한 기능분석(Function Analysis)을 통해 다양한 전문가의 아이디어를 추출하고, 평가항목별 중요도를 고려하여 주제들의 우선순위를 결정하였다. 각 주제들은 조직·인력, 제도·운영기준, 성능평가·의사결정, 설비·방재, 관리시스템의 성능평가항목으로 구분되었으며, 주요기능은 안전확보, 관리수행, 조직구성으로 평가되었다. 최종적으로 결정된 고도화 주제는 조직과 관련된 주제들의 평균성능점수가 높게 나타났으며, 각 성능평가항목별로 주제들의 우선순위가 평가되었다. 도출된 주제들은 제도개선, 연구개발, 시스템구축 등 다양한 접근방식으로 적용성이 확보되어야 하며, 향후 해상장대교량의 유지관리 고도화를 위한 기본 전략으로 활용 가능할 것으로 판단된다. 또한 제안된 방법론은 관련 전문가들의 지식을 집적하여 기존의 유지관리 관행보다 향상된 대안과 발전방안을 마련하는데 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract To improve the management of long-span bridges across the sea, this paper derived the necessary research subjects and defined their priorities. For these, the pre-study and the analysis were performed in accordance with the job plan of the Value Engineering method. The evaluation items were determined according to the evaluation properties for the improvement of bridge management, and the weights of each item were determined by applying the Analytic Hierarchy Process technique. In addition, through function analysis, various ideas of experts were extracted, and the priorities of subjects were determined by considering the importance of each item. Each subject was divided into performance evaluation items: organization/human resources, system/operational standards, performance assessment/decision-making, facilities/disaster prevention, and management systems. The main functions were evaluated as secure safety, manage facilities, and constitute organization. The final advanced subjects had the high average performance scores of the organizational-related subject, and the priorities of the subjects were assessed for each performance evaluation item. The subjects could be used as a basic strategy for improving the management of the sea-crossing bridges in the future. The proposed methodology could be effectively applied to aggregate the experts' knowledge and prepare improved alternatives and development plans.

Keywords : Sea-Crossing Bridges, Bridge Management, Value Engineering, Analytic Hierarchy Process, Function Analysis

*Corresponding Author : Kyung-Hoon Park(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)
email: paul@kict.re.kr

Received August 25, 2021

Accepted November 5, 2021

Revised October 13, 2021

Published November 30, 2021

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내에서는 2000년대 들어와 국토의 균형발전과 교통·물류의 흐름 개선을 위하여 남·서 해안을 중심으로 연육교, 연도교뿐만 아니라 육지 사이 바다를 연결하기 위해 해상에 건설되는 장대교량이 급격히 증대되었다. 주로 사장교, 현수교 등 케이블지지 장대교량을 포함한 해상교량의 건설 현황은 Fig. 1과 같다[1]. 공용중인 해상장대교량이 증가하면서 유지관리 수요 또한 증가할 것으로 예측되고 있다(Fig. 2)[2]. 따라서 사용수명 100년을 내다보고 건설한 해상장대교량의 유지관리 고도화를 위한 구체적이며 실제적인 대응 전략의 마련이 필요하다.

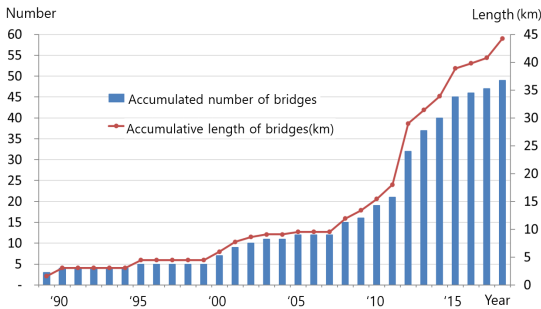


Fig. 1. Accumulated number and length of sea-crossing bridges

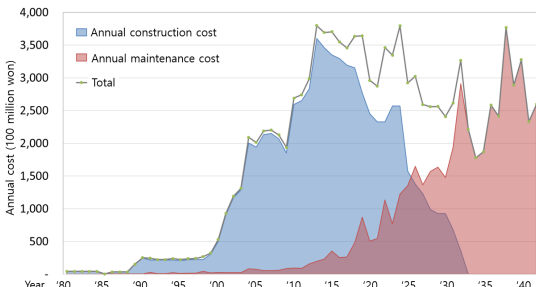


Fig. 2. Estimating construction and maintenance costs of sea-crossing bridges

해상장대교량의 유지관리는 주변 환경 및 교량 고유의 구조적, 재료적, 형상적 차이 등으로 인해 중소규모 교량의 유지관리와는 차별화된 관리가 이루어지는 것이 일반적이다. 특히 규모가 크고 주변 도로의 우회 대안이 부재한 주요 연결 고리역할로 인해 상시 체크, 모니터링 등의 안전감시시스템이 운영되는 경우가 대부분이다. 또한 주경간의 상부구조가 장경간의 케이블지지 형식이 많으

며, 해상에 위치한 환경적 영향으로 바람, 태풍, 침식, 세굴, 염해, 충돌 등 다양한 열화 및 손상 요인에 노출되어 있다. 국내에서 해상장대교량의 관리는 최근까지 역사가 오래지 않고 수적·양적으로도 미약하여 관련 전문가의 배출 또한 충분하지 않은 실정이다. 따라서 인력의 양성에서부터 체계적인 관리시스템에 이르기까지 해상장대교량에 특화된 유지관리 주제의 도출과 적용방안에 대한 구체적인 전략 수립이 필요하다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 기존의 국내외 해상장대교량 관리 현황을 분석하고, 중요도에 따른 우선순위 결정방법에 대한 고찰을 통해 합리적이며 효과적인 전략수립 방법론을 적용하였다. 전문가 워크숍에 기반한 가치공학(Value Engineering; VE)적 접근을 통해 주요 주제를 도출하고, 계층화분석기법(Analytic Hierarchy Process; AHP)을 활용하여 합리적인 유지관리 고도화 전략을 도출하였다. Fig. 3은 제안된 연구방법에 따른 절차를 나타내고 있다.

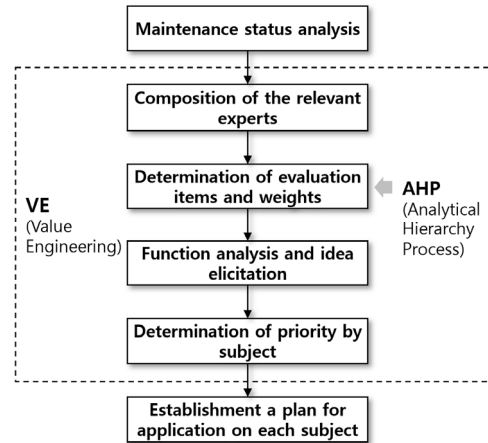


Fig. 3. Research Process

2. 해상교량 관리현황 및 연구내용 고찰

2.1 국내외 해상장대교량 관리 현황

국외에 해상장대교량이 밀집되어 관리되는 지역은 미국 캘리포니아 주(州), 일본의 혼슈-시코쿠연락교(本州四國連絡橋), 홍콩 등이 대표적이다. 대부분 해상장대교량의 관리를 수행하는 지역별 거점센터가 존재하며, 별도의

기술센터를 통해 기술지원을 실시하고 있다. 대부분 해상 장대교량에 대해서는 상시 계측모니터링시스템이 구축되어 운영되고 있으며, 상당기간 유지관리 경험에 따른 전문적인 노하우를 보유하고 있는 것으로 판단된다. 또한 해상장대교량의 특성상 대형재난사고의 발생을 방지하기 위해서 실시간 경보체계, 교통통제 기준 등을 수립하여 적용하고 있다[2,3].

국내 도로교량의 안전관련 기준 및 세부수행지침은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법[4](이하 시설물안전법)”에 근거하고 있다. 해상장대교량의 유지관리 형태는 소유기관(공공, 민간)에서 직접 관리하는 경우와 위탁 관리하는 경우로 구분된다. 케이블 지지형식의 해상 장대교량은 대부분 전문유지관리 기관에 위탁관리하고 있다. Table 1과 같이 고속국도의 해상장대교량은 한국도로공사에서 직접 관리하고 있으며, 일반국도 해상장대교량은 국토안전관리원(KALIS) 특수교관리센터에서 위탁관리하고 있다. 이외 지방자치단체 또는 민자사업자는 대부분 특수 해상장대교량을 민간유지 관리 전문기관에 위탁관리하고 있다. 해상장대교량은 모두 1종 시설물로 시설물안전법에 따라 점검 및 진단, 성능평가가 이루어진다. 거의 모든 해상장대교량에는 외국과 같이 상시계측모니터링시스템이 구축되어 운영되고 있다. 전체적인 관리 환경은 국외와 큰 차이가 없으나, 유지관리 기간이 짧아 세부적인 관리 노하우가 부족한 것으로 판단된다.

Table 1. Management status of sea-crossing bridges in Korea

Classification	Management agency	No.	Organizational configuration	Management method
National Road	Ministry of Land, Infrastructure and Transport	26	Center, 3 Offices, 5 Branches (61 people)	Special Bridge Management Center (KALIS)
Express Highway	Korea Expressway Corporation	1	Seohae Bridge Office, Bridge Management Team (17 people)	Self-performed
Metro-politan City Road	Busan Infrastructure Corporation	1	Infrastructure Headquarters, Bridge Mgmt. Office (12 people)	Entrustment of affiliated organizations
Private Expressway	New Airport Hiway	1	Structure Mgmt. Team, Special Structural Parts (4 people)	Self-performed
	Incheon Bridge Co.	1	Structure Mgmt. Team, Special Structural Parts (4 people)	Self-performed

2.2 전략 수립 관련 동향

앞서 해상장대교량의 유지관리와 관련된 국내의 사례를 검토하였으나, 대부분 전문조직과 개별 교량의 모니터링 및 재해 대책 등에 국한되어 있고, 전체적인 해상장대교량의 특성을 고려한 장기적인 유지관리 발전방안을 체계적으로 제시한 결과는 찾아보기 어려운 실정이다. 따라서 유지관리 고도화를 위한 전략적 접근방법에 대해서 조사 분석하였다.

건설분야에서는 설계의 경제성검토[5] 과정에서 가치공학적 접근법을 활용하도록 하고 있으며, VE 절차가 건설분야의 공인된 의사결정 접근방법론으로 활용되고 있다. 또한 VE 절차에서 AHP는 중요한 가중치 결정 수단으로 활용된다. 본 연구에서 다루는 유지관리 고도화 주제는 VE의 기능정의 과정을 통해 도출될 수 있으며, 상대적인 가중치는 AHP를 활용할 수 있다.

관련 연구 사례로, 정해조 등[6]은 독일의 에너지 정책과 녹색기술의 융합적 접근모델의 구축을 위하여 가치공학적 기능분석을 활용하여 한국의 에너지 정책의 기능을 분석하고, 5가지의 평가항목을 도출하여 각 기능의 평가점수를 도출하였다. 해당 연구에서는 평가항목의 가중치를 고려하여 중요도에 따른 세부 항목별 가중치까지 고려한 우선순위를 도출하지는 않았다. 실제 실행보다는 전체적인 정책수립의 방향성을 결정하는 수준의 연구로 판단된다. 또한 박장호 등[7]은 교량 상부구조의 설계 대안들에 대한 경제성 등 성능평가 항목들에 대하여 AHP 적용을 통해 비교속성에 따른 중요도를 구하고 이로부터 공용수명별 최적의 대안을 선정하였다. 한편 박재우 등[8]은 AHP기법을 이용하여 국가 시설물의 중요도를 평가하는 시스템을 개발하였다. 재난 등의 위험에 선제적으로 대응하기 위하여 일정 지역 내의 중요시설물을 정의하고 시설물별 중요도를 선정하기 위하여 AHP기법을 활용하였다. AHP 분석을 통해 시설물별 가중치를 부여하고, 평상시와 재난발생 상황으로 구분하여 조치 우선순위 결정의 위한 의사결정 지원을 수행할 수 있는 시스템을 개발하였다.

다른 분야에서도 해당분야의 다양한 전략 수립을 위한 연구성과를 극대화하기 위하여 AHP기법을 활용하고 있다. 기업의 수출다변화 전략의 수립을 위한 영향인자의 중요도와 우선순위 분석을 위하여[9], 평생교육 진흥 기본계획의 수립을 위한 정책별 중요도 분석을 위하여[10] AHP기법이 활용되었다. 또한 농업 관측사업의 중장기 발전전략의 수립을 위한 설문조사의 분석[11], 뇌 융합연

구분야 선정을 위한 중점후보 분야와 평가항목 간의 상대적인 가중치와 우선순위 결정[12] 등 다양한 의사결정 분야에 활용되고 있는 실정이다.

3. 유지관리 고도화 주제 도출

해상장대교량의 유지관리와 관련된 전문가의 범위가 협소하고, 서로 다른 다양한 경험으로부터 도출되는 다양한 아이디어를 아우르기 위하여 건설분야에서 대안의 도출과 우선순위, 효과 판단을 위해 광범위하게 적용되고 있는 가치공학(VE)적 기법을 일부 차용하여 적용하였다.

VE 수행절차는 효과적 수행을 위해 SAVE(Society of American Value Engineer) International의 VE 작업 계획(job plan)을 준용하여 준비단계(pre-study), 분석 단계(VE study), 실행단계(post-study)의 3단계로 진행된다[13]. 그러나 본 연구를 위한 워크숍은 기존 유지관리 행태를 원안으로 하여 효율성 향상을 위한 개선된 아이디어를 도출하는 것이 목표이므로, VE 작업계획 중 준비단계와 분석단계에서 창의적 아이디어의 도출과 평가를 통한 연구주제 및 우선순위 도출에 목표를 두고 수행하였다.

일반적인 VE 준비단계에서는 준비회의, 팀원 선정 및 구성, 관련자료의 수집이 이루어진다. 해상장대교량의 유지관리 연구개발 및 실무를 담당하는 국내 전문가의 섭외와 VE 워크숍을 위한 전문가 팀원(총10인, 관리주체3인, 실무전문가3인, 연구개발자4인)을 구성하고, 각 팀원의 해상장대교량 유지관리와 관련된 활동에 있어 가치 있는 자료를 사전 공유하였다.

해상장대교량 유지관리 고도화 주제 도출을 위한 전문가들은 현재 해상장대교량을 실질적으로 관리하고 있는 공사, 공단, 민자, 진단 및 계측 업체, 연구원 등에 소속된 전문가를 망라하여 구성하였으며, 창의적 아이디어 개발, 체계적 의사결정 등을 위한 워크숍을 약 6시간 동안 3회 개최하였다. 전문가 워크숍에 참가한 전문가의 기본사항을 Table 2에 정리하였다.

유지관리 고도화를 위한 주제 도출을 위한 절차는 Fig. 4와 같이 ① 평가항목 결정, ② 평가항목별 가중치 결정, ③ 기능 분석 및 계통도 작성, ④ 주제 도출, ⑤ 평가 및 우선순위 결정 순으로 진행되었다. 여기서 평가항목별 가중치의 결정은 AHP기법에 기초한 VE 팀원 간 합의에 바탕을 두었다. 또한 고차원의 창의성을 달성하는데 있어 주요 장벽이 되는 심리적 관성으로 문제를 해결

Table 2. Overview of workshop participants

No.	Affiliation	Position	Years of experience	Specialized field
1	Korea Expressway Corporation	Team Reader	16	Cable supported bridge maintenance and management
2	Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation	Team Reader	18	Maintenance system of special bridges
3	New Airport Hiway	Team Reader	19	Bridge maintenance of private capital highway
4	A Company specializing in facility maintenance	Chief Executive Officer	19	Monitoring system of infrastructures
5	A Company specializing in measuring & monitoring	Chief Executive Officer	17	Real-time monitoring system of special bridges
6	A Company specializing in safety diagnosis.	Chief Executive Officer	15	Infrastructure asset management system
7	Korea Institute of Civil Eng. and Bdg. Tech.	Research Fellow	23	Bridge management and reinforcement
8	Korea Institute of Civil Eng. and Bdg. Tech.	Research Fellow	20	Rapid repair and reinforcement of bridges
9	Korea Institute of Civil Eng. and Bdg. Tech.	Senior Researcher	18	Bridge management system
10	Korea Institute of Civil Eng. and Bdg. Tech.	Senior Researcher	15	Bridge maintenance standard and guidelines

* All participants have a Ph.D. of Structural Engineering

하려는 오류를 극복하여 이상적인 최종결론을 발견하기 위하여 기능분석(Function Analysis) 방법을 적용하였다.

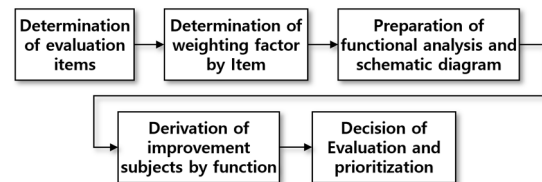


Fig. 4. Steps to derive subjects for maintenance advancement

3.1 평가항목 도출

무작위, 무평가 원칙에 의해 Table 3과 같이 해상장대교량의 유지관리 업무에 관한 전반적인 상세 평가항목을 착상하고, 팀원들의 합의에 의해 평가속성을 조직·인

력, 제도·운영기준, 성능평가·의사결정, 설비·방재, 관리 시스템의 5가지 항목으로 분류하였다.

평가항목의 결정을 위한 평가속성은 유지관리업무에 관한 전반적인 상세한 성능평가기준을 고려하여 해상장대교량 유지관리 전문가들의 자유로운 아이디어를 통해 도출하였다. 유사한 속성별로 분류하여 5가지 평가항목으로 구분하였다. Table 3의 평가속성은 도출된 다양한 아이디어를 연관성이 높은 항목별로 대표 속성을 나타낸 것이다.

3.2 평가항목별 가중치 도출

해상장대교량 유지관리 업무와 관련되어 도출된 평가항목의 중요도를 정량화하기 위하여 AHP기법을 적용하였다. AHP기법은 특정한 주제에 대한 다양한 대안에 대한 상대적인 가중치를 합리적으로 결정하여, 의사결정의 신뢰도를 높이는데 기여할 수 있다[7]. 우선 의사결정 문제에 있어 의사결정 요소들 간의 관계를 분석하여 계층구조를 형성하여야한다. 각 계층내의 의사결정 요소들의 쌍대비교(pairwise comparison)를 통하여 계층별로 쌍대비교행렬($n \times n$)을 구하게 된다. 쌍대비교 행렬로부터 각 계층내의 의사결정 요소의 상대적 중요도를 평가하였다.

일관성지수(Consistency Index; CI)를 통해 항목들 간의 선호도에 대한 개인별 응답의 일관성 정도를 파악하게 되는데, 보통 일관성비율(Consistency Ratio; CR)의 값은 10% 이내, 지수 값이 0.1보다 작아야 평가의 신뢰성이 있는 것으로 간주된다. CI 는 Eq. (1)과 같이 쌍대비교행렬의 최대고유치($\gamma_{\max}$)와 비교할 항목의 수(n)로부터 구한다. CR 은 Eq. (2)와 같이 임의지수(Random Index; RI)와 CI 의 비에서 구한다.

$$CI = (\gamma_{\max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

전문가 의견을 반영하여 획득된 각 성능평가 항목별 가중치는 Table 4와 같다. 분석의 신뢰도를 판단할 수 있는 일관성비율은 4.3%, 일관성지수는 0.048로 일반적인 허용치를 만족하였다. Table 5와 같이 세부 성능속성은 5단계 중요도에 따라 항목별 세부가중치를 결정하였다. 최종적인 계층별 성능평가 항목의 가중치는 Fig. 4와 같다.

Table 3. Evaluation properties and items of idea

Evaluation properties	Evaluation items
- Proper size of organization - Securing professionalism in charge (proficiency of visual inspectors, etc.) - Securing professional engineers (securing maintenance personnel of management agency etc.) - Continued work of professionals	➡ Organization and Human Resources
- Appropriateness of planning (maintenance items, review of new technologies, salt resistance measures, etc.) - Appropriateness of qualification standards (education, related licenses, etc.) - Appropriateness of the system related to ordering (order guidelines, ordering system, evaluation items, reason of unit price and price standard for maintenance, etc.) - Appropriateness of operating standards (repair cycle, follow-up management of new technologies/reinforcement, underwater survey cycle, defective warranty period of member, scope/level of management, etc.)	➡ System and Operation Standards
- Rationality of safety performance evaluation (load resistance, fire resistance, wind resistance, seismic, structural modeling, etc.) - Appropriateness of decision-making standards (management grade, maintenance level, etc.) - Rationality of condition and performance evaluation	➡ Performance Evaluation and Decision Making
- Appropriateness of measurement system (replacement cycle, seismic accelerometer, operating guidelines, connection with other systems, etc.) - Adequacy of maintenance facilities (construction, facility evaluation, operating guidelines, etc.) - Appropriateness of inspection equipment (scale, detailed inspection technology, minimum repair equipment, etc.) - Appropriateness of disaster prevention system (snow removal, freezing prevention, suicide prevention, traffic safety facilities, disaster countermeasures, etc.) - Appropriateness of ITS (Intelligent Transport Systems) operation system (passing heavy vehicles, restriction of heavy vehicles, CCTV, VMS, etc.)	➡ Facility and Disaster Prevention
- Appropriateness of management system (upgrade, item, history, asset management, etc.) - Systematization of maintenance related documents - Establishment of operating guidelines for management system - Appropriateness of design and construction history data management	➡ Management System

Table 4. Weighting factors (WF) of performance evaluation items (performance attribute matrix)

Evaluation item		A	B	C	D	E	WF
A	Organization and Human Resources	1.0	1.0	4.0	5.0	5.0	→ 36%
B	System and Operation Standards		1.0	5.0	5.0	6.0	→ 39%
C	Performance Evaluation and Decision Making			1.0	1.0	2.0	→ 9%
D	Facility and Disaster Prevention				1.0	4.0	→ 11%
E	Management System					1.0	→ 5%

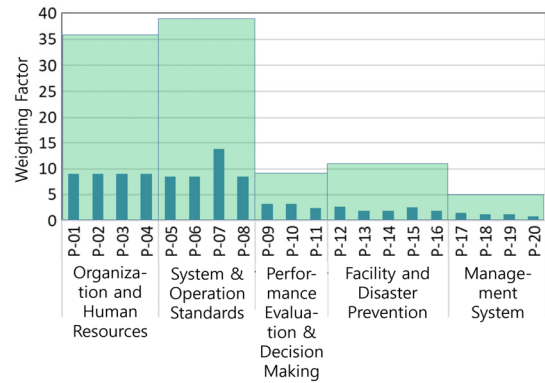


Fig. 4. Weighting factor of performance evaluation items

Table 5. Detailed weighting factors (DWF) of performance evaluation items

Evaluation items	Performance Properties		Importance	DWF
Organization and Human Resources	P-01	Proper size of organization	4.0	9.0
	P-02	Securing professionalism in charge	4.0	9.0
	P-03	Securing professional engineers	4.0	9.0
	P-04	Continued work of professionals	4.0	9.0
System and Operation Standards	P-05	Appropriateness of planning	3.0	8.4
	P-06	Appropriateness of qualification standards	3.0	8.4
	P-07	Appropriateness of the system related to ordering	5.0	13.8
	P-08	Appropriateness of operating standards	3.0	8.4
Performance Evaluation and Decision Making	P-09	Rationality of safety performance evaluation	4.0	3.2
	P-10	Appropriateness of decision-making standards	4.0	3.3
	P-11	Rationality of condition and performance evaluation	3.0	2.5
Facility and Disaster Prevention	P-12	Appropriateness of the measurement system	4.0	2.7
	P-13	Adequacy of maintenance facilities	3.0	1.9
	P-14	Appropriateness of inspection equipment	3.0	1.9
	P-15	Appropriateness of disaster prevention system	4.0	2.6
	P-16	Appropriateness of ITS operation system	3.0	1.9
Management System	P-17	Appropriateness of management system	5.0	1.5
	P-18	Systematization of maintenance related documents	4.0	1.3
	P-19	Establish operating guidelines for management system	4.0	1.3
	P-20	Appropriateness of design and construction history data management	3.0	0.9
Summation			-	100

3.3 기능분석 및 아이디어도출

기능분석은 VE 방법론의 핵심으로서 기능의 필요한 정도를 식별하기 위한 방법이다[13]. 개별 기능들은 FAST(Function Analysis System Technique) 다이어그램으로 표현되며, 기능간의 논리적 연관관계를 시각적으로 제공하게 된다. 기능분석을 통해 전문가들의 아이디어 창출을 극대화하고 토론을 체계화할 수 있다.

해상장대교량의 유지관리 시에 요구되는 기능에 대해 정의 및 분류하여 유지관리의 특성을 파악하고 예상되는 문제의 본질을 공유하였다. 유지관리업무를 위한 총 92개 필요기능을 정의하였고, 기능별 아이디어 도출을 위한 집중적 노력을 유도하였다. 주요기능(최상위기능)은 크게 안전확보, 관리수행, 조직구성으로 구분되었으며, Fig. 5는 대표적인 주요 기능에 대한 FAST 다이어그램을 나타내고 있다.

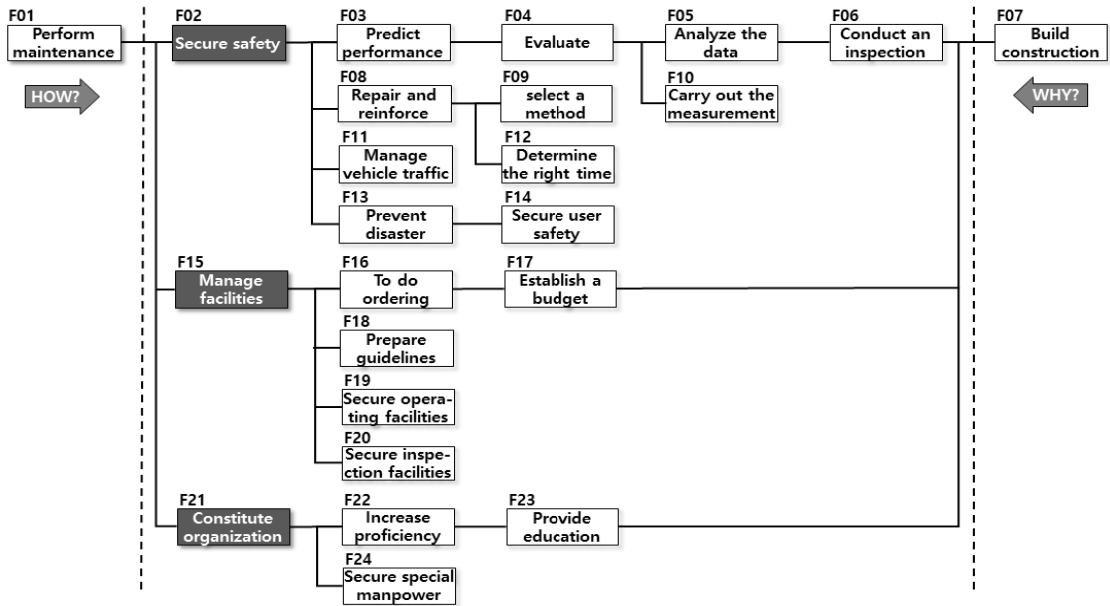


Fig. 5. FAST diagram

도출된 주요 기능별로 워크숍을 통한 집단 토론의 목적성과 집중성을 강화하기 위해 논의하고자 하는 기능에 대해서만 브레인스토밍 기법을 활용하여 아이디어를 도출하였다. 안전확보, 관리수행, 조직구성 기능 확보를 위해 요구되는 세부 아이디어는 총 50건(각각 16건, 24건, 10건)이 도출되었다. 각 아이디어는 해상장대교량의 유지관리 효율성 향상 정도에 따라 10단계로 구분하여 중요도를 평가하였다. 현재 수행되는 통상적인 유지관리를 중간값(5점)으로 하고 이보다 개선되는 아이디어이면 6점 이상, 현재 수준보다 낮아지는 아이디어이면 4점 이하를 부여하였다. 모든 평가는 전문가(팀원)의 합의에 의해 결정하되, 합의가 되지 않으면 개개인의 최대한 자유로운 의사의 표현이 가능하도록 스마트폰 앱(app.)을 이용한 무기명 투표 방식을 활용하였다. 조직구성기능과 관련된 10건의 아이디어에 대한 성능점수 산정사례를 Table 6에 나타내었다. 도출된 전체 아이디어에 대해서 동일한 평가를 수행하였으며, 최종적인 성능점수는 Table 7에 제시하였다.

Table 6. Evaluating the performance of ideas related to organization functions

No	Related ideas	Evaluation criteria (weighted)					Perf. score
		A	B	C	D	E	
		36%	39%	9%	11%	5%	
1	Establishment of institutions and systems for quality assurance	8	8	7	7	9	78.5
2	Establishment of program to train professional inspectors	9	9	8	7	9	86.9
3	Establishment of qualification guidelines for professional inspectors	9	9	9	7	9	87.8
4	Establishment of guidelines for securing minimum inspection personnel	9	10	8	7	9	90.8
5	Restricted placement of inspection and management personnel rotation	9	9	8	7	9	86.9
6	Preparation of career management plan for maintenance and monitoring experts	9	10	8	7	9	90.8
7	Establishment of maintenance training system	9	10	8	7	9	90.8
8	Preparation of mock inspection training program	10	9	8	8	9	91.6
9	Preparation of an appropriate personnel size for each maintenance task	10	10	8	8	8	95.0
10	Preparation of exchange plans with overseas specialized maintenance institutions	8	8	8	7	8	78.9

Table 7. Subjects for improving maintenance system efficiency

Sortation	Technical contents (subjects)	Performance score	Function classification
Organization and Human Resources			
S1-1	Preparation of an appropriate personnel size for each maintenance task	95.0	Organization
S1-2	Establishment of guidelines for securing minimum inspection personnel	90.8	Organization
S1-3	Establishment of maintenance training system	90.8	Organization
S1-4	Restricted placement of inspection and management personnel rotation	86.9	Organization
S1-5	Establishment of institutions and systems for quality assurance	78.5	Organization
System and Operation Standards			
S2-1	Preparation of career management plan for maintenance and monitoring experts	90.8	Organization
S2-2	Establishment of qualification guidelines for maintenance companies	87.9	Management
S2-3	Establishment of qualification guidelines for professional inspectors	87.8	Organization
S2-4	Establishment of a program to train professional inspectors	86.9	Organization
S2-5	Refine standards to include maintenance experts as design evaluation committee	84.6	Management
S2-6	Preparation of exchange plans with overseas specialized maintenance institutions	78.9	Organization
S2-7	Establishment of ordering method guidelines for measurement and monitoring	78.1	Management
S2-8	Establishment of guidelines for underwater inspection	74.3	Safety
S2-9	Establishment of guidelines of unit price and price standard for maintenance	69.7	Management
S2-10	Establishment of guidelines for the application of snow removal agents	64.2	Safety
Performance Evaluation and Decision Making			
S3-1	Establishment of guidelines for replacement of expansion joints	80.9	Management
S3-2	Establishment of guidelines for salt resistance painting	80.9	Management
S3-3	Establishment of decision-making criteria (maintenance level, grade, etc.)	80.1	Management
S3-4	Application of condition and performance evaluation techniques	79.7	Safety
S3-5	Development of non-destructive testing system for cable corrosion	77.4	Safety
S3-6	Preparation of methods to minimize measurement/monitoring system	71.2	Management
S3-7	Hysteresis management of undersea topography by erosion and deposition	68.1	Safety
Facility and Disaster Prevention			
S4-1	Preparation of disaster countermeasures manual	88.9	Safety
S4-2	Establishment of standards for installation and operation of inspection facilities	86.4	Management
S4-3	Preparation of methods to prevent falling snow and falling ice	85.7	Safety
S4-4	Establishment of installation and operation guidelines for maintenance facility	83.5	Management
S4-5	Establishment of maintenance guidelines for optimal inspection equipments	81.4	Management
S4-6	Introduction of a disaster response system	80.8	Safety
S4-7	Introduction of fire response system	76.4	Safety
S4-8	Introduction of fog monitoring system	66.6	Safety
S4-9	Introduction of an automatic anti-freezing system	63.8	Safety
S4-10	Introduction of damage monitoring system for collision prevention facilities	62.5	Safety
Management System			
S5-1	Introduction of BMS(Bridge Management System)	85.6	Management
S5-2	Establishment of asset management system	79.7	Management
S5-3	Establishment of operating standards for management systems	77.8	Management
S5-4	Establishment of document management items for technical data	77.4	Management
S5-5	Preparation of a long-term budget estimation method	75.0	Management
S5-6	Introduction of WIM system for heavy vehicle history management	73.7	Management

4. 효율성 향상 주제 도출 및 적용

4.1 효율성 향상 주제 도출

전문가 워크숍을 통해 도출된 아이디어들은 상호 관련성이 있는 항목간의 통합과 적용성을 고려하고, 동일한 성능평가기준에 의해 50건의 아이디어를 평가하여 최종적으로 38(안전12, 관리17, 조직 9)건의 유지관리체계 효율성 향상 주제로 정의하였다. 한편 안전, 관리, 조직과 같은 유지관리 기능적 구분이 지나치게 포괄적이고 체계적인 구분이 모호할 수가 있으므로, 앞서 결정된 평가항목(조직·인력, 제도·운영기준, 성능평가·의사결정, 설비·방재, 관리시스템)에 따른 구분을 추가하여 전문가 재검토 회의를 통해 Table 7과 같이 최종안을 선정하였다.

도출된 주제들의 평균성능점수는 79.7이며, 각 기능

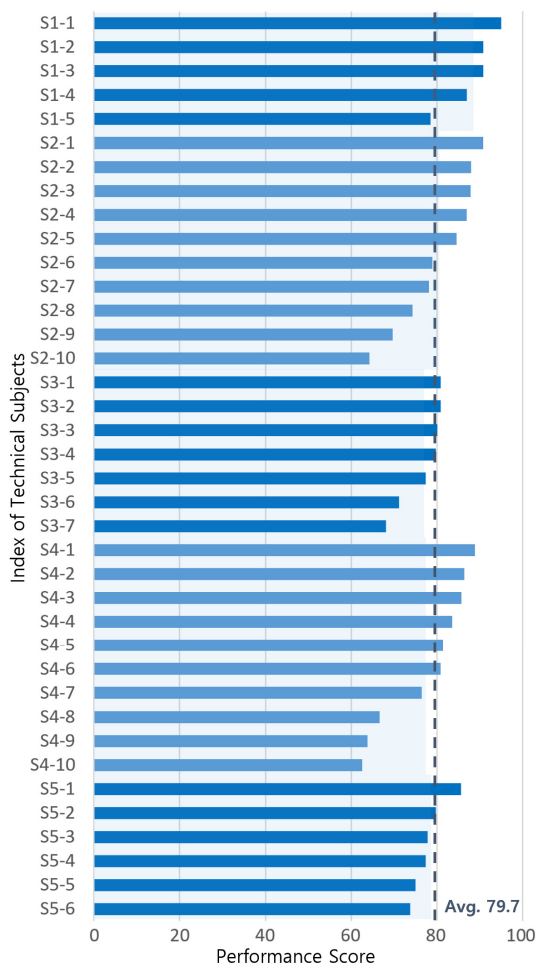


Fig. 6. Performance score of technical contents

별 주제를 성능점수에 따라 배치하면 Fig. 6과 같다. 기능적 구분에 따른 주제들의 평균 성능점수는 안전 74.0, 관리 79.6, 조직 87.4로 나타났으며, 평가항목 측면에서 평균 성능점수는 조직·인력 88.4, 제도·운영기준 80.3, 성능평가·의사결정 76.9, 설비·방재 77.6, 관리시스템 78.2로 평가되었다.

실제 해상장대교량의 유지관리와 밀접한 관련이 있는 전문가들에 의해 도출된 결과들은 조직·인력, 제도·운영 기준에 우선순위를 두고 있다. 조직과 제도가 뒷받침되면 기타 기술적인 문제들이 보다 용이하게 해결될 것이라는 기대가 반영된 결과로 판단된다.

4.2 주제별 적용 방안

도출된 주제들의 실적용을 위해서는 법, 기준 등 제도적인 변화가 필요한 주제들이 있으며, 특정한 지침의 마련이 필요한 주제, 중장기적인 연구개발이 뒷받침되어야 할 주제, 관련 시스템 개발 또는 구축이 요구되는 주제 등 다양한 형태로 구분될 수 있다.

(1) 조직 및 인력 분야 주제(S1)

조직 및 인력 분야는 타 분야에 비해 대부분 주제들(S1-1~S1-4)이 고르게 높은 비중을 나타내고 있다. 효율적인 유지관리를 위해서는 특화된 조직과 인력의 확보가 선행되어야 할 과제로 도출되었다. 이를 위해서 기존의 국내의 해상장대교량의 유지관리 현황 분석을 바탕으로 기본적인 인원, 업무, 교육 등과 관련된 분석을 수행하여 해상장대교량 관리 규모에 따른 적절한 대안이 제시되어야 한다(S1-1, S1-2). 또한 지속가능한 관리를 위한 교육체계, 인력의 전문성 등이 확보되어야 하며(S1-3, S1-4), 장기적으로 유지관리 품질 확보를 위한 노력과 함께 적절한 지침, 가이드라인 등의 개발이 필요한 것으로(S1-5) 결과가 도출되었다.

(2) 제도 및 운영기준 분야 주제(S2)

다음으로 높은 평균점수를 나타내는 제도 및 운영분야에서는 관련 전문가 및 업체의 경력관리와 자격 기준의 정립(S2-1~S2-3)이 해상장대교량의 효율적인 유지관리를 위해 선행되어야 할 것으로 나타났다. 또한 전문가 양성 프로그램의 필요성(S2-4)과 설계단계에서부터 유지관리가 고려될 수 있도록 제도적 뒷받침의 필요성(S2-5)이 높게 요구되었다. 장기적으로 선진 전문기관과의 정보 교류 방안(S2-6)과 계측, 수중조사, 제설, 보수보강단가 등

세부적인 조사, 유지보수(S2-7~S2-10)와 관련된 주제가 후순위로 도출되었다.

(3) 성능평가 및 의사결정 분야 주제(S3)

성능평가 및 의사결정 분야는 가장 기술적인 주제들로 구성되어있다. 해상장대교량의 특성으로 인해 대용량 신축장치의 교체(S3-1), 내염 도장(S3-2) 및 케이블 부식에 따른 비파괴검사(S3-5) 등 주요 부재, 열화손상에 대한 구체적이고 기술적인 유지관리 지침의 개발이 필요한 것으로 나타났다. 또한 해상장대교량에 적합한 합리적인 상태 및 성능평가(S3-4)를 통한 적정 유지관리 수준과 의사결정 기준의 마련(S3-3)이 높은 주제로 도출되었다. 추가적으로 계측시스템 최적화(S3-6), 해상지형 이력관리(S3-7) 등의 필요성이 제안되었다. 이러한 주제들은 중장기적으로 전담조직의 주도 아래 다양한 연구개발 지원을 통해 수행되어야 할 것으로 판단된다.

(4) 설비 및 방재 분야 주제(S4)

설비 및 방재 분야의 주제들은 교량 자체뿐만 아니라 이용자와 점검자의 안전 문제와 관련되어 있다. 해상장대교량에서 발생 가능한 다양한 위험요인에 대응하기 위한 매뉴얼, 운영기준, 지침 등의 마련(S4-1~S4-5)이 선행되어야 하고, 이를 뒷받침할 시스템적인 지원(S4-6~S4-10)이 뒤따라야 할 것으로 나타났다. 또한 기후변화 등으로 인한 예상치 못한 복합재난에 대응하기 위하여 첨단 IoT 기반의 시스템 도입이 필요한 실정이다.

(5) 관리시스템 분야 주제(S5)

최근 사회기반시설물의 유지관리를 위해서 자산관리(Infrastructure Asset Management)의 도입이 적극적으로 이루어지고 있다(S5-2). 해상장대교량의 중요성에 비추어 유지관리 이력의 확보와 보수보강 현황의 정확한 관리가 필요하다. 또한 개별 교량(project level)의 계측·모니터링을 통한 관리뿐만 아니라 다수의 교량 관리(network level)에서 인벤토리의 관리와 함께 유지관리 예산을 고려한 자산관리 개념의 교량관리시스템(Bridge Management System; BMS) 개발이 필요한 것으로 판단된다(P5-1). 또한 이러한 시스템의 운영 기준이 마련되어야 할 것이다(P5-3~5). 이러한 연구는 상당히 광범위하고 많은 노력이 소요되므로 중장기적으로 전담조직의 주도하에 이루어져야 할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 해상장대교량의 유지관리 고도화를 위하여 필요한 유지관리 기술 개발 주제를 선정하고 우선순위를 결정하고자 하였다. 국내외 유지관리사례, 관련 전문가들의 경험과 노하우로부터 체계적으로 아이디어를 도출하기 위하여 VE 작업계획 중 준비단계와 분석단계를 도입하였다. 이를 통해 창의적이며 건설적인 아이디어의 체계적이며 효율적인 도출과 평가가 이루어질 수 있었다. 따라서 VE 분석 과정이 설계 대안의 가치 향상이라는 기본적인 역할뿐만 아니라, 관련 전문가들의 지식을 집적하여 기존의 유지관리 관행보다 향상된 대안과 발전방안을 마련하는데 효과적으로 적용될 수 있는 것으로 판단된다.

유지관리 향상 주제의 도출을 위하여 평가항목을 결정하고 항목별 가중치 결정을 위하여 AHP 기법을 적용하였다. 또한 기능분석(FAST)을 통해 도출된 주요기능별로 전문가들의 다양한 의견을 체계적으로 추출하였다. 도출된 의견들은 가중치를 적용하여 성능점수에 따라 주제별 우선순위를 결정하였다. 이러한 일련의 주제 도출 과정에서 AHP 기법과 기능분석 방법은 다양한 전문가 의견의 계층적 상호관계를 고려한 가중치의 결정과 목적성을 갖는 집적적 전문가 의견 도출에 효과적으로 활용될 수 있다는 것을 확인하였다.

해상장대교량의 유지관리 고도화에 있어서 요구되는 주요 기능들은 안전확보, 관리수행, 조직구성 기능으로 구분되어 도출되었다. 이러한 기능을 만족시키기 위한 주제들은 조직·인력, 제도·운영기준, 성능평가·의사결정, 설비·방재, 관리시스템의 성능평가항목에 따라 구분하여 기본적인 적용방안을 도출하였다. 전반적으로 체계적인 조직구성의 필요성이 높게 평가되었으며, 관리와 안전 관련 기능은 조직구성이 적절하게 이루어지면 점진적으로 해결이 가능할 것으로 판단된다. 도출된 주제들의 실 적용성을 확보하기 위해서는 시급성, 적정성, 관리주체 및 R&D 연관성 등을 고려하여, 향후 세부 주제별로 구체적인 추진 방안과 계획의 수립이 요구된다.

References

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Yearbook of Road Bridge and Tunnel Statistics, 2020.

- [2] Iksan Regional Office of Construction and Management, Research and Development Project of See-crossing Bridges, 2013.
- [3] T. Habib, Inspection and Maintenance of Bridge Stay Cable Systems (NCHRP Synthesis 353), p.205 Transportation Research Board, 2005, pp.60-63.
DOI: <https://doi.org/10.17226/13689>
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Special Act on the Safety and Maintenance of Facilities, 2020.
- [5] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Guidelines of the Implementation of Design Competitions, Basic Designs, etc. and the Review of Economic Feasibility of Design, etc., 2020.
- [6] H.-J. Chung, J.-K. Yang, "Convergence Research of the Application of German Energy Policy to Green Construction Industry - Using Function Analysis of Value Engineering", *The Korean Journal of Area Studies*, Vol.35, No.2, pp.7-32, 2017.
- [7] J.-H. Park, Y.-S. Shin, Y.-J. Ahn, K.-K. Lee, "Examination of Value Engineering for Bridge Superstructures using Analytic Hierarchy Process", *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol.24, No.6, pp.79-85, 2009.
- [8] J.-W. Park, S. Kim, "Development of Importance Evaluation System for National Major Infrastructures using AHP Method", *Journal of the Korea Contents Association*, Vol.15, No.8, pp.532-543, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2015.15.08.532>
- [9] I.-G. Jang, B.-K. Kim, "A Study on the Determinants of Export Diversification and Adoption of Competitive Advantage Strategy Using Hierarchical Analysis", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No.9, pp.435-445, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.9.435>
- [10] M.-S. Park, S.-H. Han, J.-C. Yoon, "The Priority Analysis on the Lifelong Education Enhancing Plan using AHP", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.17, No.3, pp.499-508, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.3.499>
- [11] Y.-J. Kim, H.-S. Han, B.-S. Kim, "A Review on the Development Direction of Agricultural Outlook Program Using AHP Approach", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, No.6 pp.3753-3759, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.6.3753>
- [12] J.-H. Kim, D.-R. Suh, J.-H. Choi, H.-G. Kim, "A Research on Derivation of Strategic Brain Research Areas by the AHP Approach", *Journal of the Korea Contents Association*, Vol.16, No.4, pp.36-44, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2016.16.04.036>
- [13] R. B. Stewart, Fundamentals of Value Methodology, p.407, Xlibris, 2005, pp.61-79.

박 경 훈(Kyung-Hoon Park)

[정회원]



- 1998년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 2006년 2월 : 한양대학교 대학원 토목환경공학과 (구조공학박사)
- 1999년 3월 ~ 2000년 2월 : 한양대학교 강사
- 2000년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 구조연구본부 연구위원

〈관심분야〉

교량공학, 기반시설생애주기관리, 교량관리시스템

선 종 완(Jong-Wan Sun)

[정회원]



- 2004년 2월 : 한양대학교 대학원 토목환경공학과 (구조공학석사)
- 2010년 8월 : 한양대학교 토목공학과 (구조공학박사)
- 2008년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 구조연구본부 수석연구원

〈관심분야〉

기반시설생애주기관리, 구조신뢰성, 교량관리시스템