철도교량에서 다양한 개량계획의 체계화 설정

Systemization Setting of Various Improvement Plans in Railway Bridges

백재욱¹ · 박대효[†]

Jae-Wook Back · Taehyo Park

Abstract Existing railway bridges have been going through various improvements since the past, with new improvement plans being formed based on social and technological demands. However, there is the need, above all, for an efficient execution plan due to the great number of sites and excessive amount of required expenses contrary to limited assets. The system itself must be held in question in order to systemize various improvement plans, to define and describe factors while utilizing evaluation methods for significance and correlation to achieve generalization. This paper is focused on determining the priority of various improvement plans through the optimization selection process of mutually evaluating alternative plans under various evaluation standards, thus corresponding to the decision-making purpose. The AHP analysis technique was applied for systemization setting and preference evaluation, while the HPT procedure was applied to develop and select appropriate improvement plan factors.

Keywords : Railway bridge, Improvement plan, Priority, AHP, HPT(Human Performance Technology)

초 록 기존 철도교량은 과거로부터 각종 개량이 시행되고 있고 사회적·기술적인 요구 등으로 새로운 개량계획이 수립되고 있지만 해당 개소가 많고 소요비용이 막대하여 한정된 예산에서는 무엇보다도 효율적인 시행계획이 필요하다. 각종 개량계획을 체계화시키기 위해서는 시스템 차원의 문제로 간주하여 요소들을 정의하고 기술해야 하며 중요도, 상관관계 등은 평가기법을 이용하여 종합화가 이루어져야 한다. 이에 본 연구는 의사결정의 목적에 부합하도록 다양한 평가기준 하에서 대안들을 상호 평가하는 최적화 선정과정을 거쳐 각종 개량계획의 우선순위를 결정하고자 하였다. 체계화 설정과정과 선호도 평가를 위해 AHP 분석기법이 적용되었고 보다 적절한 개량계획의 요소를 도출·선정하고자 수행공학의 절차과정이 활용되었다.

주요어 : 철도교량, 개량계획, 우선순위, 계층화 분석기법, 수행공학

1. 서 론

공용 중인 철도교량은 내구년한의 경과에 따라 전반적인 노후로 보수·보강·개축이 요구될 뿐만 아니라 사회적·기술적인 요구 등 여러 가지 이유로 각종 개량계획이 요구되고 있다.

열차의 증량화 및 속도 증가에 따라 교량의 안전을 확보하기 위해 표준열차하중에 의거하여[1] 안전도가 향상된 교량구조로 교체 중에 있다. 자연재해대책법 등에 따라 지진 및 수해에 대비한 보강 및 시설 개량이 추진되고 있으며 철도안전법 및 산업안전보건법 등에 의거하여 직무사상사고의 방지를 위한 각종 안전시설이 개량 및 설치되고 있다. 또한 시트법에 따라 보수·보강 및 개축이 구조물 안전점검결과에 따라 시행되고 있다. 구조물 상태평가기준인 B, C급으로 판명된 구조물을 대상으로 열차의 승차감 및 선로의 안전도 향상 등을 위해 여러 가지 보수 및 보강이 이루어지고 있다[2].

이와 같이 이용자 측면의 안전한 시설물로 유지되기 위해 철도교량의 개량은 지속적으로 시행되고 있으나 총체적으로 접근·분석되지 못해 최상의 효과를 낳지 못하고 있다. 무엇보다도 한정된 예산이지만 효율적인 시행을 위한 최적의 수행전략이 필요하고 과거로부터 계획과 새로운 계획을 종합적으로 평가하여 검토할 수 있는 분석기법이 있어야 한다. 또한 각종 개량계획을 중요도에 따른 정량화로 우선순위 설정 등의 체계화 설정 및 실행방안 검토가 필요하다.

본 연구는 Fig. 1과 같이 철도교량의 효율적인 유지관리 및 개량의 시행계획을 분석하고 수립하기 위해 진행·계획 중인 개량사업과 사회적·기술적으로 요구되는 사항이 먼저 검토되었다. 각종 개량계획은 수행공학적 절차과정을 통해 최적 요소가 결정되고 각각의 요소에 대한 영향성이 상호 반영되어 중요도 및 종합성능이 결정되어진다. 마지막으로 종합성능평가로 세부요소 및 전체요소에서의 우선순위 분석이 가능해진다. 최적화 분석모델에 의한 체계화 설정 및 선호도 평가를 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석기법이 적용되었고 보다 적절한 개량계획의 요소를 도출·통합하고자 수행공학(Human Performance Technology: HPT)의 절차과정이 활용되었다.

[†]교신저자 : 한양대학교 공과대학 건설환경공학과
E-mail : cepark@hanyang.ac.kr

¹한양대학교 일반대학원 건설환경공학과

Fig. 1 Performance Procedure of this Study by Each Stage

우선순위에 관한 체계화 설정을 위해 기존 연구를 살펴보면 다음과 같다.

박상욱 등은 도로포장의 공용성능을 평가하고 사업대상구간의 순위를 설정하기 위해 포장상태예측방법을 통하여 의사결정과정에 활용하였다[3]. 이정옥 등은 효율적인 하수관거개량사업의 시행을 위해 비용절감의 효과를 토대로 판단 척도로 이용할 수 있는 우선순위결정모형(Rehabilitation Priority Decision Model: RPDM)을 개발하였다[4]. 박은규와 박태근은 도로포장의 유지보수구간의 선정을 위한 의사결정을 위해 우선순위를 나타내는 지수로써 파손상태뿐만 아니라 교통량, 도로등급, 도로연장, 버스전용차로 유무 등을 평가요소로 고려하여 모형을 개발하였다[5]. 이와 같이 한정된 재원으로 어느 구간을 먼저 보수해야 하는지는 자원의 효율적 이용문제뿐만 아니라 교통의 기능 유지 및 안전사고 감소와 직접 연관이 있으므로 무엇보다도 과학적인 의사결정방법에 의한 분석과 결정시스템의 구축이 중요하다.

서영찬 등은 도로포장의 PMS(Pavement Management System) 보수 우선순위 및 공법 결정 등에 의사결정에 계층도(decision tree)를 활용하여 분석하였고 경제성 분석, 생애주기비용분석, 신경망이론 등을 적용하였다[6]. 또한 오순택 등은 철도교량의 장기 손상예측을 위해 인공신경망(Artificial Neural Network) 이론을 적용하여 교량상태평가에 활용하였고[7] 이윤성 등은 철도전력설비의 유지보수 우선순위를 결정하는 방법으로 퍼지이론을 이용한 RPN(Risk Priority Number)을 사용하여 기존 전문가시스템의 신뢰성을 높이고자 하였다[8].

이와 같이 유지보수 및 보강을 위한 우선순위에 관한 연구는 간단한 도표에서부터 복잡한 이론에 이르기까지 발전된 형태로 매우 다양하게 적용되고 있지만 현재 진행 중이

거나 계획 중인 다양한 철도교량의 개량요소를 포함하여 적정하게 분석하기에는 한계가 있다.

2. 본 론

각종 교량 개량계획의 체계화 설정은 복잡한 시스템 문제로 간주할 수 있다. 체계화를 위해서는 시스템을 구성하고 있는 요소들을 정의하고 기술하여야 하며 이런 과정에서 결정하여야 하는 사항들을 변수로 고려할 수 있다[9]. 본 연구에서는 철도교량의 다양한 개량계획에 대한 세부항목 자체가 변수로 간주될 수 있다.

체계화 설정에 대한 결정과정은 다양한 정책과 관련 기준, 불완전하고 일관성이 결여된 정보, 특정상황에만 적합한 여러 가지 제약들 그리고 제한된 자원 및 급격히 변화하는 기술 하에서 최적의 대안을 선택하여야 하는 문제이다. 이런 경우 목적에 부합하는 다양한 기준을 검토·분석하고 각종 대안을 상호 평가하는 등 종합화 우선순위를 결정할 수 있도록 최적화 분석모델 선정과정을 거치게 된다.

2.1 체계화 접근방법

보통 대안들을 비교·선택할 때 평가기준이 되는 속성은 어떤 정량적인 지표로 표현되기 마련이다. 하지만 각 속성들의 정량적 지표는 서로 다르기 때문에 반드시 표준화(normalize) 작업이 필요하다. Mistree 등은 다음 식 (1)과 (2)에서와 같이 어떤 속성에 대해 여러 대안들의 성취도를 평가할 때 가장 좋은 속성치에 1을, 가장 나쁜 속성치에 0을 두고 그 사이값은 선형 보간을 통해 체계화 시키고자 하였다[10].

(a) 클수록 좋은 경우

$$R_{ei} = \frac{(A_{ei} - A_i^{\min})}{(A_i^{\max} - A_i^{\min})} \quad (1)$$

(b) 작을수록 좋은 경우

$$R_{ei} = 1 - \frac{(A_{ei} - A_i^{\min})}{(A_i^{\max} - A_i^{\min})} \quad (2)$$

여기서, R_{ei} 는 표준화된 e 번째 대안의 i 번째 속성치, A_{ei} 는 e 번째 대안의 i 번째 속성치, $A_i^{\min}$ 는 e 번째 대안의 i 번째 최소 속성치, $A_i^{\max}$ 는 최대 속성치를 나타낸다.

이렇게 표준화된 R_{ei} 와 각 속성의 가중치 I_j 를 이용하여 각 대안의 MF(Merit Function)를 식(3)과 같이 정의하여 그 값이 가장 큰 대안을 선택되도록 한다. 이는 순차적이고 반복적인 기존 방법과는 달리 최적의 대안과 그 대안의 주요 특성치를 동시에 결정할 수 있다.

$$MF_e = \sum_{i=1}^n I_i R_{ei} \quad (3)$$

이와 같이 본 연구에서의 체계화 접근법은 표준화 과정이

라는 결정들을 연속적으로 묘사하고 이런 결정들의 동시적인 해결을 위해 하나의 최적화 문제로 묶어내고 있다. 하지만 표준화과정은 주어진 대안 간의 상대적인 평가에만 의존하기 때문에 자칫 비합리적인 결정을 내릴 위험성을 내포하고 있다. 전체적인 관점에서의 평가가 어렵고 속성의 선호도도 속성치와 반드시 선형 비례한다고 하기도 어렵다.

이처럼 모든 문제는 속성의 지표와 선호도와와 정확한 관계를 수학적 함수로써 표현하기 어려울 때가 많다. 따라서 주어진 대안들의 속성치뿐만 아니라 경험이나 외적인 정보 등도 함께 고려해 선호도를 종합적으로 평가할 필요가 있다. 이런 이유로 전체적이고 일관성 있는 종합평가를 유도하기 위해서 효과적으로 수용할 수 있는 기법인 AHP를 활용하여 보다 다각적이고 체계적인 평가를 하고자 한다.

2.2 AHP 기법을 활용한 선호도 종합 평가방법

본 연구는 각 요소의 중요도 산정에 따른 일관적인 종합적 평가를 위해 Satty[11]에 의해서 개발된 계층화 분석기법이 활용되었다. AHP 기법은 선택 문제를 전체적인 관점에서 그리고 단순히 정량적인 지표에 표현되지 않는 다른 의미까지 결정에 반영되도록 하고 있다.

AHP 분석은 각 요소의 상대적 중요도를 측정하여 쌍대비교행렬을 만들고 고유치해석(eigenvalue analysis)을 통하여 각 레벨마다 정규화한 우선순위벡터를 산출한다. 마지막으로 계층의 최상위에 위치한 의사결정의 목적을 달성할 수 있도록 최하위 단계에 있는 대안들의 상대적인 우선순위를 나타내는 복합 우선순위벡터(priority vector)를 산출하여 분석되어진다. 이와 같이 본 연구의 AHP 분석과정은 총 4단계로 이루어지며 다음과 같다[12-14].

첫 번째 단계는 의사결정문제에 상호 관련된 요소들을 계층적으로 분류하여 의사결정계층(decision hierarchy)을 선정한다. AHP는 계층구조를 갖는 모형으로 최종목표-의사결정요소(평가기준)-대안의 관계를 취하면서 계층구조가 만들어진다. 문제해결 접근방식을 단계별로 제시하고 상호 배반적인 대안들 간의 관계를 체계화 한다.

두 번째 단계는 상위 계층에 있는 요소들의 목적을 달성하는데 기여하는 직계하위계층에 있는 영향항목들을 쌍대비교하여 행렬을 작성한다. 쌍대비교행렬 작성에서 a_{ij} 는 비교하는 판단기준과 구하려는 판단기준의 비로써 표현되며 산정 식은 다음과 같다.

$$a_{ij} = w_i / w_j \quad (4)$$

여기서, a_{ij} 는 번째 i 판단기준과 j 번째 판단기준과의 비교값, w_i 는 구하려는 판단기준, w_j 는 비교하는 판단기준을 나타낸다.

한 수준에서 n 개의 평가항목에 대해 $n(n-1)/2$ 회의 쌍대비교를 수행하면 실제적인 상대적인 가중치를 알 수 있고 이를 이용하여 쌍대비교행렬 $A_{n \times n}$ 을 구성할 수 있다.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, 행렬 A 를 구성하는 a_{ij} 는 요소 j 에 대한 요소 i 의 상대적 가중치 w_i/w_j 의 추정값이다. 즉, 쌍대비교로부터 얻어진 수치는 두개 항목 간의 비교이므로 각 요인을 포함한 전체적인 정합성이 고려된다. 행렬 A 는 $a_{ii} = 1/a_{ii}$ 인 주대각선의 요소(element) 값이 모두 1이 되는 성질을 가진 역수행렬이다.

세 번째 단계는 고유치해석(eigenvalue analysis)을 이용하여 요소들의 상대적 중요도를 결정한다. 행렬 A 에 평가항목 사이의 상대적 중요도를 나타내는 열벡터 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 를 곱하게 되면 다음과 같이 산정되어진다.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$A \cdot w = n \cdot w \quad (7)$$

여기서, n 은 행렬 A 의 최대 고유치이며 식(7)은 n 개의 연립방정식 체계에서 non-zero해를 구하는 고유치문제이다. w 의 해를 구한 값은 평가항목별 가중벡터로 상대적 가중치가 결정된다.

이때 쌍대비교행렬에 대한 수치들의 일관성 정도를 표현하는 일관성지수(Consistency Index: CI)와 일관성비율(Consistency Ratio: CR)은 중요도 결정을 보정할 수 있다. 쌍대비교에 대한 응답이 완전한 일관성을 유지하지 않을 경우 응답의 신뢰성은 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 쌍대비교의 대상이 되는 요소 j 의 상대적 중요도의 추정치 a_{ij} 는 다음과 같다.

$$a_{ij} = (1 + \delta_{ij}) \frac{w_i}{w_j} \quad (8)$$

여기서, δ_{ij} 는 w_i/w_j 에 대한 불일치 정도를 나타내며 -1 보다 커야 한다. 실제 쌍대비교행렬에서 구한 최대고유치 $\lambda_{\max}$ 와 완전한 일관성을 가지는 쌍대비교행렬의 최대고유치 n 간의 차이는 다음 식과 같다. 즉, 기수적 일관성은 쌍대비교에 대한 응답이 완전한 일관성이 유지하지 않을 경우 $\lambda_{\max} > n$ 의 관계가 성립하는 것을 이용한 것이다.

$$\lambda_{\max} - n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\delta_{ij}^2}{1 + \delta_{ij}} \geq 0 \quad (9)$$

여기서, 추정치 a_{ij} 가 정확히 w_i/w_j 에 일치하면 δ_{ij} 는 0이 되어 $\lambda_{\max} - n$ 은 0이 성립한다. 따라서 $\lambda_{\max}$ 가 n 에 가까울수록 쌍대비교에서 일관성 있는 분석이 이루어진 것이다. 이와 같이 일관성지수는 다음과 같이 표현한다.

$$CI = \mu = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

여기서, μ 는 일관성지수를 나타낸다.

이를 이용하여 응답 일관성 정도는 비일관성비율(Inconsistency Ratio)로 나타내며 비관성비율은 일관성지수를 경험적 자료로써 얻은 무작위지수(Random Index: RI)로 나눈 값이다. 무작위지수는 n 크기의 쌍대비교행렬에 의하여 무작위로 생성된 여러 개의 일관성지수이다.

네 번째 단계는 계층의 최상위에 있는 의사결정의 목적을 이루기 위해 최하위에 있는 대안들의 종합성능(synthesis performance)을 산정하여 대안들 간의 우선순위를 결정한다.

$$V = \sum_{i=1}^n W_i \cdot Z_i(x) \quad (11)$$

여기서, V 는 대안의 종합중요도, W_i 는 n 가지 평가기준별 상대적 중요도, $Z_i(x)$ 는 각각의 평가기준에 대한 대안의 중요도를 나타낸다.

식(11)과 같이 종합적 분석을 통하여 대안들의 우선순위를 결정한다. 종합성능은 궁극적으로 대안들 간의 상대적인 가중치 개념이 되고 이를 통하여 대안들의 우선순위를 결정할 수 있다. 결국 평가대상이 되는 여러 대안들에 대한 종합순위는 요소들의 상대적 중요도를 종합하여 가능해진다.

2.3 수행공학을 통한 요소의 도출 및 선정

본 연구에서는 요소를 도출·선정하기 위해 그리고 각각의 종합성능에 대한 전체적인 결과를 얻기 위해 전문가집단의 의견과 판단을 이용하여 분석되었다. 이에 공학적인 접

근으로 중 개량계획의 요소화 선정을 위하여 Fig. 2와 같이 수행공학에서 다루어지고 있는 요구분석 절차과정이 활용되었다[15]. 수행공학이라 함은 프로세스 수행분석을 통하여 문제를 분석한다. 원인을 분석하는 단계에서 시작하여 원인에 대한 해결책을 선정하며 의사결정의 목적 실행을 위해 변화관리 분석을 하고 마지막으로 실행을 평가하는 과정을 거친다.

현재와 바람직한 수행 상태의 격차를 분석하여 비용 효과적이고 효율적인 해결책을 제시할 수 있는 수행공학의 적용으로 브레인스토밍, 앙케이트 등의 한계를 극복할 수 있는 체계적인 방법으로 고려할 수 있다[16].

본 연구와 같이 의사결정과정에서 최적의 요소들을 도출하고 전문가들의 영향성을 중요도 개념으로 적절하게 판단·평가하기는 어렵다. 또한 철도의 기술적인 사항까지 고려할 수 있는 시스템공학 관련 전문가는 없는 실정이다. 이런 이유로 평가에 포함된 각계 전문가들이 요소를 도출·선정하고 중요도를 평가해가면서 즉, 수행하는 동안 자연스럽게 결정사항에 대한 개념성을 도출하고 전문성을 관련시켜 다양한 방안에 대한 영향도를 분석하는 것이 보다 적절한 방법이다.

전문가들은 문제에 대해 계속적인 상호작용을 일으켜 결국 목적의 달성을 위한 적절한 해결책을 유도할 수 있는 요소화 도출이 가능해진다. 성공적인 수행을 위해서는 Table 1과 같이 단계별 수행수준 매트릭스를 통해 분석이 되고 경우에 따라서는 전문·전략적 수준을 넘어 정책적 수준의 수행목표에 대한 해결이 가능해진다[17].

수행분석과정 중 요구분석절차는 문제의 징후들만 파악되었을 가능성이 많기 때문에 최적 요소의 선정을 위해 원인 분석이라는 보완절차를 가진다. 원인분석은 정도의 차이를

Fig. 2 Requirement analysis procedure for optimal factor

Table 1 Matrix procedure of execution standard

Classification	Best Status (Models)	Present Status (Measures)	Solution Plan (Methods)
Policy	· Performance Target · Relevant Standard	· Present Condition · Difference · Degree of Importance between Differences	· Environmental Solution · Managerial Solution · Group Structuralization
Strategical	· Performance Target · Relevant Requirements	· Present Circumstance · Problems in the Result · Cause of the Problem	· Data · Trend Survey · Structuralization of the Issue
Tactical	· Performance Limit · Relevant Issues	· Mediator · Time Plan · Performance Cost	· Feedback · Method Offer · Trial and Error

Table 2 Tools for cause analysis

Classification	Contents	Use	Method
Root Cause Analysis	· Tracing of cause and result of the problem · Analysis on past-oriented and negative performance difference	· Estimation of clarity of the problem · Use to find out the cause of the problem	· Arrange each relationship by suggesting the issues related with the problem in sequence
Ishikawa Fishbone Diagram	· Use to TQM and 6-sigma · Focused to narrow the past-oriented and negative performance difference	· Research on the stages to reach the cause and condition that can cause the problem	· Arrangement of the causes of problem circumstance · Analyze each cause and derive the result
Portfolio Analysis	· Investigation on the past performance as a base for decision making · Solution of positive performance difference	· Performance improvement strategy when the interested parties are involved · Decision making through improvement opportunity	· Derive fundamental cause by ranking the important causes in performance problems at present and in the future
Pareto Chart	· Bar graph assessment displaying importance of the condition factors	· Enhancement of efforts to solve problems and description of correlative importance between the mutually different factors of problem	· Collect information on the detailed issues and display the degree of occurrence by the numerical bar graph

축소 또는 제거하여 합의도출 분석수행을 최대한 이끌어 최적의 해결요소 선정을 가능하게 한다. 원인분석은 수행과정에서 발견할 수 없는 특정요인들을 확인하는 것으로 어떤 문제에 숨어있는 근본원인을 찾아내어 해결요소 선정에 도움을 주는 분석과정이다. 기능상의 환류, 관리상의 부재, 지식 부족, 수행과정에서의 집행문제, 지식과 집행의 결합문제 등으로 발생할 수 있는 여러 가지 문제를 Table 2와 같이 원인분석도구들을 통해 분석하여 결국 최적의 요소를 선정할 수 있도록 한다[18].

이상과 같이 수행공학에서 다루고 있는 요구분석절차와 원인분석과정을 통한 분석으로 기존의 방법으로 객관화하기 어려운 개량계획 내에서의 요소의 도출 및 결정, 전문가 간의 의사결정 영향중요도, 순위 결정의 영향척도가 보다 신뢰도를 높일 수 있도록 산정될 수 있었다.

2.4 철도교량의 개량 우선순위 분석

기존 철도교량시설물은 예방유지 차원에서의 관리역사가

짧고 데이터베이스화의 정도가 낮아 과학적이고 체계적인 기준에 의한 개량계획을 세우지 못하고 있다. 더군다나 현대의 변화하는 다양한 영향인자를 예측·분석하여 종합적인 개량계획을 결정하는 것은 어려울뿐더러 보수·보강, 개축 등 유지관리에 관한 집행 및 계획은 예산과 관련된 사항이라 변화가 심해 아직까지는 기준 설정에 문제가 있다.

이에 본 연구는 제한된 상황에서 효율적인 철도교량시설물의 유지관리를 위해서 각종 개량계획을 체계화·종합화시켜 우선순위를 결정하고자 한다.

교량은 철도시설물 중 대표적인 시설물로서 열차안전운행 확보를 위하여 구조물의 건전도가 항상 유지되어야 하나 장기간의 사용 또는 외적인 환경변화에 따라 다양한 형태의 보강 및 개량 작업이 요구되고 있다[19]. Table 3과 같이[20] 대상 개소가 많고 소요비용이 막대하여 한정된 예산에서 효율적인 투자계획이 필요하다.

각종 개량계획을 수집하고 상세한 사항을 정의·기술하는 등 대별할 수 있는 개량계획을 통합적으로 설정하기 위해 수

Table 3 Deterioration status of railway bridges

Classification	Sites	Lengths(km)	Composition
under 10years	773	207.069	27.7
10~20years	297	51.242	10.6
20~30years	382	28.244	13.7
30~40years	235	14.636	8.4
40~50years	213	9.340	7.6
50years and above	893	45.469	32.0
Total	2,793	356.000	100.0

행공학의 요구분석 절차과정으로 분석되었다. 이처럼 불확실성을 많이 내포하고 있는 문제는 신뢰성을 높이기 위해 전문성이 있는 다수의 평가자를 대상으로 한 수행공학적 절차 과정이 필요로 한다. 또한 적정한 결과를 도출하고 관련 영향항목 선정에 있어 최적요소로 결정하기 위해서 AHP 분석기법의 가중화 설정에 따른 중요도 추출로 분석되었다. 본 연구는 제약상 철도시설 관리업무에 관련된 유지관리 전문가로 한정되었고 앞서와 같이 수행평가자의 경험 및 기술적 판단을 통하여 요소화가 이루어지도록 분석되었다. 진행·계획 중인 개량사업이 분석되었고 다양한 영향에 대한 사회적·기술적 요구사항을 검토하기 위해서 수행공학의 원인분석도구를 활용한 광범위한 문헌조사가 이루어졌다. 이와 같이 개량계획 체계화 설정을 위해 도출·선정된 개량 요소는 Table 4와 같다[2,21-24].

먼저 첫째로 구조물 변상 관련이다. 시트법에 의한 안전 점검결과에 따라 상태평가기준인 B급 및 C급 평가된 대상으로 열차의 승차감 및 선로의 안전도 향상 등을 위해 보수 및 보강이 이루어지고 있다. 구체적으로 구체 보강, 강교량 도장, 방호벽·방음벽 설치, 교량받침·신축이음 교체 등이 있다.

둘째로 재해 예방 관련이다. 자연재해대책법 등에 의거 풍수해 및 지진 등의 자연재해로부터 시설을 보호하고 영향을 최소화하기 위한 시설 개량과 지진에 취약한 구조물의 사전

보강을 하고 있다. 홍수위 및 여유고가 부족한 교량에 대한 교량 확장·개량, 경간장 확장 및 지진대비 구조물 보강이 이에 속한다.

셋째로 교량구조 개선 관련이다. 열차의 중량화 및 고속화 등에 따라 안전을 확보하기 위해 안전도가 향상된 구조로 개선하고 있다. 교량의 유도상화 및 노후거더 교환이 포함된다.

넷째로 산업안전시설 관련이다. 산업안전보건법 등에 의거 작업장 위험방지시설을 의무적으로 설치하고 있다. 가도교 안전설비, 시설물 유지관리시 안전사고 예방을 위한 교량점검통로 및 교측보도 설치 등이 속한다.

다섯째로 노후교량 개축 관련이다. 구조물의 목표수명에 도달하기 전에 기능적인 측면으로 개량을 하는 것이 일반적이나 철도시설물은 내구년한을 초과하여 공용 중인 교량이 많아 개량이 요구되고 있다.

그간 철도교량의 각종 개량은 제각각 수립 추진됨으로서 투자에 비해 최대효과를 기대하기는 어려웠다. 이를 보다 합리적으로 추진하기 위해서는 전체적인 관점에서 종합적인 분석이 필요하다. 앞에서 언급한 것처럼 본 연구는 일관성있는 종합적 평가를 위해 AHP 분석기법이 활용되었다.

교량별 각종 개량요소 간의 종합적 영향도 분석을 위한 의사결정요소 구조도는 Fig. 3과 같이 고려되었다. 우선순위 결정을 위해 의사결정요소 및 하위 의사결정요소는 상호 중요성을 가지면서 척도화 되고 일관성을 유지하게 된다.

다음으로 각 요인들을 비교하여 항목비교 초기값행렬이 구성되었고 고유치해석에 의해 Table 5와 같이 의사결정요인의 상대적 가중치가 분석되었다[25]. 분석결과 구조물 변상 C급 요소항목이 0.232로 가장 높게 분석되었고 변상 B급 요소가 0.012로 낮게 분석되었고 평가의 신뢰성을 높이기 위해 일관성비율이 피드백되어 결과가 보정되었다. 또한 Table 6은 각각의 종합성능에 대한 통합적인 평가를 위하여 전문수행평가자 간의 의사결정 영향도를 나타낸다.

참고로 Table 5와 6은 앞서와 같이 수행공학의 요구분석 및 원인분석 절차과정을 통해 분석되었다. 기존의 방법으로

Table 4 Improvement plan factors

No.	Factor	Remark	No.	Factor	Remark
1	Deformation C Grade	Safety Reinforcement	7	Expansion of Bridge Span	Minimization of Damage
2	Lack of Flood Stage	Minimization of Damage	8	Preparation for Earthquake	Safety Reinforcement
3	Lack of Freeboard	Minimization of Damage	9	Sidewalk Installation	Safety Reinforcement
4	Ballast Installation	Structural Improvement	10	Deformation B Grade	Safety Reinforcement
5	Girder Replacement	Structural Improvement	11	Reinforcement of Bridge Foundation	Minimization of Damage
6	Bridge Expansion	Minimization of Damage	12	Degradation	Lapse of Endurance Period

※ Assessment Standard for Status of Structures

- Deformation B Grade : Status where minor defect has occurred at the secondary member but there is no problem in displaying the function, and a partial repair is required to improve durability.

- Deformation C Grade : Status where minor defect to the major member or extensive defect to the secondary member have been occurred but there is no problem in safety of overall facility, and either repair to prevent declining of durability, functionality of the major members or simple reinforcement is required with the secondary members.

Fig. 3 Structural relationship of solution factors

Table 5 Calculation result of influence analysis for decision-making factors

No.	Factor	Importance Degree	No.	Factor	Importance Degree
1	Deformation C Grade	0.232	7	Expansion of Bridge Span	0.018
2	Lack of Flood Stage	0.179	8	Preparation for Earthquake	0.068
3	Lack of Freeboard	0.036	9	Sidewalk Installation	0.069
4	Ballast Installation	0.041	10	Deformation B Grade	0.012
5	Girder Replacement	0.090	11	Reinforcement of Bridge Foundation	0.073
6	Bridge Expansion	0.163	12	Degradation	0.019

Table 6 Influence analysis of performance assessor

No.	Contents	Importance	No.	Contents	Importance
1	Research Institutes (Railway Policy)	9%	5	Operating Corporation (Track Management)	8%
2	Research Institutes (Rail & Structures)	10%	6	Operating Corporation (Facilities Management)	12%
3	Research Institutes (Structures Maintenance)	13%	7	Railway Companies (Railway Design)	16%
4	Operating Corporation (Conceptual Design)	18%	8	Railway Companies (Bridges Design)	14%

객관화시키기 어려우므로 대안으로써 전문가 의견과 경험을 수렴하는 방법으로 제시되었다. 수행공학은 다른 의미로서 하나의 주제에 대해 해당분야의 전문가들의 의견을 제시하고 조정하는 과정을 수행하는 동안 반복하여 최종 합의점을

정리하는 일련의 절차라고 할 수 있다. 본 연구는 이와 같이 수행공학적 방법을 활용하여 집단 인터뷰 → 개별 인터뷰 → 설문조사 → 집단 인터뷰라는 과정으로 결정사항을 도출하고 전문성을 관련시켜 영향도 및 중요성이 분석되었다.

Table 7 Analysis result of priority for existing railway bridges

[illegible]

마지막으로 일관성비율이 만족을 하면 의사결정 관계구조 및 수행평가자 간의 상대적인 중요도가 개개 교량별로 통합적으로 가중되어 종합성능이 분석되었다. 상술하면 세부요소 간의 가중치는 상위레벨에서 통합되어 요소 간으로 가중 비교되어 수행평가자별 우선순위백터가 산정된다. 이와 같은 동일한 절차를 거쳐 수행평가자 전체의 우선순위백터가 분석된다.

이와 같이 Table 7은 기존 철도교량의 통합된 개량의 종합성능결과를 나타낸다. 각각의 개량계획 요소별 순위는 Table 5와 Table 6에서와 같이 결정요소 영향도와 수행평가자 중요도로 가중되어 최종적으로 통합된 종합성능이 분석되었다. 12가지 요소별 순위결과 및 전체교량에 대한 결과는 지면 관계상 생략되었다.

구조물 변상 B 및 C급 요소는 점검·진단 및 매년 실시되는 상태평가 결과와 공사 용이성에 따라 순위가 산정되었다.

홍수위 및 여유고 부족 요소는 부족치에 대한 조사결과, 상습 침체지역, 홍수에 대한 구조 안정성 등에 따라 분석되었다.

유도상화 및 노후거더 교환 요소는 선별 및 구조 중요성에 따라 평가되었다. 선별 중요성은 운행횟수가 높은 경부선·호남선 등이 높게 평가되었고 구조 중요성은 거더의 피로현상이 우려되는 LS-18과 민원 및 소음·진동이 큰 개소가 높게 순위화 되었다.

교량 및 경간장 확장 요소는 하천정비계획에 따라 통수단면이 부족하고 병목화 된 개소가 높게 평가되었다. 하상 및 기초 세굴, 유로의 변경, 지표의 침식 및 풍화 등 지형 변동으로 인한 재해발생성을 고려하여 보다 적정성을 높이고자 하였다. 이처럼 80년대 이전의 교량은 경제성을 최우선으로 하는 개념에 따라 대하천을 제외한 대부분의 교량이 12.1m 이하의 경간장으로 구성되어있어 개량이 필요하며 침수피해성 등을 고려하여 분석되었다.

지진 대비 보강요소는 내진위험도 분석에 기초하여 순위가 결정되었다. 선별 중요성과 함께 조적식·무근 구조물을 우선시 하여 평가되었다.

교측보도 요소는 설치 여부, 교량 연장, 직곡선 특성을 종합적으로 분석하여 평가되었다.

기초 보강 요소는 기초 및 하상 세굴이 발생한 개소가 우선시 되었고 세굴영향이 큰 지역, 기초가 불명확한 개소 등을 고려·분석되었다.

노후도 요소는 내구년한 경과년수와 선별·구조 중요성을 감안하여 순위가 설정되었다.

이와 같이 기존 철도교량은 시특별에 따라 점검 및 관리하고 있으나 한정된 예산에서 보강작업이 미흡한 형편이다. 기존 변상에 대한 즉각적인 보수·보강 및 신규로 발생하는 변상과 새로운 사회적인 요구에 따라 적기 보수 및 재원 마련 대책이 마련·확보되어야 하나 그렇지 못해 무엇보다도 효율적인 집행이 필요하다. 이런 배경으로 본 연구는 분석되어 Table 7과 같이 여러 가지 영향 항목을 감안하여 기존 철도교량의 개량 우선순위가 분석되었다.

3. 결 론

노후 및 변상교량은 장기간 사용에 따른 피로현상 발생시 급속한 파괴로 이어져 열차안전운행에 막대한 피해발생을 초래한다. 본 연구는 철도교량시설물의 종합적인 개량계획을 수립하기 위해 현재 진행 중이거나 추진 계획하고 있는 사업 등을 조사·분석하여 한정된 예산에서 최상의 효과를 낼 수 있도록 각종 개량계획을 체계화하고 개량의 우선순위가 정량화 되었다. 개량사업의 적기 적소 시행으로 대형사고 방지 및 교량 수명연장을 도모할 수 있다.

첫째, 본 연구는 우선순위 결정문제를 최적화함으로써 선택에 필요한 평가기준의 도출·선정과정에 신중을 기할 수 있으며 그리고 각 요소평가를 표준화할 경우 전체적인 관점에서 다각도로 평가·반영할 수 있게 되었다. 연구분석과정에 적용된 최적화 분석모델은 전문가 시스템의 관점에서 관련 사전 제약요인을 분석하고 이를 기초한 평가로 상대적 중요도 및 종합 성능에 따른 우선순위가 도출·선정될 수 있었다.

둘째, 체계화·종합화 설정과정은 보다 신뢰성과 상호 연관성을 높이는 효과를 가져오며 기준척도로서 광범위한 데이터 및 다양한 요인 항목을 가지고 있는 의사결정에 활용될 수 있었다. 종합성능평가는 대안을 적정하게 평가하기 위해 요소항목 선정이 매우 중요하다. 본 연구는 적정한 요소도출을 위해 수행공학이 활용되어 요구분석 및 원인분석 절차과정을 통해 보다 객관화되어 분석되었다.

참고문헌

- [1] Minister of Land, Transport and Maritime Affairs (2009) *Railway Construction Rule*.
- [2] Korea Rail Network Authority (2006) *Handbook of Railway Facilities Management*.
- [3] S.W. Park, Y.C. Suh, C.G. Chung (2008) Development of Prediction Method for Highway Pavement Condition, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 10(3), pp. 199-208.
- [4] J.H. Lee, M.J. Park, J.H. Kim (2008) Rehabilitation Priority Decision Model for Sewer Systems, *Journal of the Korean society of hazard mitigation*, 8(6), pp. 7-14.
- [5] E.K. Park, T.K. Park (2005) A Study on the Establishment of a Model and Criteria for Priority of Road Maintenance using an Analytic Hierarch Process, *Proceedings of the Architectural Institute of Korea*, 25(1), pp. 383-386.
- [6] Y.C. Suh, J.B. Kim, K.Y. Jung (2000) Development of the Main Algorithm of Pavement Management System for the Korea Expressway System, *Proceedings of the Korean Society of Road Engineers*, 25(1), pp. 133-138.
- [7] S.T. Oh, D.J. Lee, J.H. Lee (2010) A Condition Rating Method of Bridges using an Artificial Neural Network Model, *Journal of the Korean society for railway*, 13(1), pp. 71-77.
- [8] Y.S. Lee, K.R. Kwon, J.O. Kim, H.C. Kim (2009) Estimation for Failure Rate of Railway Power Facility and Determination of Maintenance Priority Order using Fuzzy Theory and Expert

- System, *Proceedings of the Korean society for railway*, pp. 495-504.
- [9] Jose Holguin-Veras (1995) Comparative Assessment of AHP and MAV in Highway Planning, *Journal of Transportation Engineering*, 121(2), pp. 191-200.
- [10] F. Mistree, W.F. Smith, B.A. Bras (1993) *A Decision-Based Approach to Concurrent Engineering*, Chapman & Hall.
- [11] T.L. Satty (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGrawHill.
- [12] J.H. Baek, S.B. Chung, K.H. Song, D.S. Kim (2005) Development of the Feasibility Evaluation Model for the Adding New Railroad Station using AHP Technique, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 25(3D), pp. 385-393.
- [13] E.H. Forman, M.A. Selly (1999) *Decision by Objectives(How to convince others that you are right)*, World Scientific.
- [14] J.G. Yoon (1990) Application of AHP and its Limitation, *Journal of Management & Economy*, Catholic University of Daegu, 7, pp. 75-92.
- [15] R.F. Mager, P. Pipe (1984) *Analyzing Performance Problems (2nd ed.)*, Belmont, CA: Pitman.
- [16] H. Stolovitch, E. Keeps (1999) *Handbook of Human Performance Technology (2nd ed.)*, San Francisco: Jossey-Bass-Pfeiffer.
- [17] T. Gilbert (1996) *Human Competence: Engineering Worthy Performance*, McGraw-Hill.
- [18] J.S Jung (2000) *Understanding of Human Performance Technology - Tools for Reengineering*, Kyoyook Books.
- [19] Korea Rail Network Authority (2007) A Study on Scientific Determination of Maintenance Cost for Railway Facilities.
- [20] Minister of Land, Transport and Maritime Affairs (2010) *Handbook of Railway*.
- [21] Ministry of Construction and Transportation (2006) *Master Plan for the Railway Industry Development*.
- [22] Minister of Land, Transport and Maritime Affairs (2010) *Comprehensive Plan for Rail Safety*.
- [23] Korea Railroad Corporation (2008) *Status of Railway Facilities*.
- [24] Korea Rail Network Authority (2006) A Study on Seismic-Performance Evaluation and Reinforcement Method for Existing Railway Structures.
- [25] K.H. Song, S.Y. Hong, S.B. Chung, K.S. Chun (2002) Development of Analytic Hierarchy Process or Solving Dependence Relation between Multicriteria, *Journal of Korean Society of Transportation*, 20(7), pp. 15-22.
- 접수일(2011년 3월 21일), 수정일(2011년 6월 4일),
게재확정일(2011년 6월 20일)