AHP를 활용한 철도선로구간 노후도 평가

Deterioration Evaluation of Railway Line Segments
Using Analytic Hierarchy Process김성호[†]

Seongho Kim

Abstract An effective approach to distributing budget to railway line facility improvement is to use investment priorities of railway line segments based on their deterioration. In this paper we present an evaluation method of railway line segment deterioration which can be used to distribute limited budget. Railway line facilities include rail track, railroad switch, sub-grade, bridge, tunnel. These facilities and line shape can affect line segment deterioration. Deterioration evaluation method we present is a weighted sum of each component deterioration scores. The component weight can be obtained from experts using analytic hierarchy process.

Keywords : Railway Line Segment, Deterioration, Analytic Hierarchy Process

초 록 정된 예산으로 철도선로시설을 개선하고자 할 때 사용할 수 있는 효과적인 예산배분 방법 중 하나는 가장 노후도가 심각한 선로구간부터 우선적으로 예산을 투입하는 것이다. 본 논문에서는 예산배분에 사용할 수 있는 선로구간 노후도 평가방법을 제시한다. 선로구간의 노후도는 궤도, 분기기, 노반, 교량, 터널 등 요소 시설물의 노후도로 결정되며 궤도의 선형 또한 선로구간 노후도에 영향을 준다. 본 논문에서 제시하는 노후도 평가 방법은 각 요소의 노후도 점수에 AHP로 구한 요소 가중치를 반영하여 선로구간 노후도 점수를 구하는 것이다.

주요어 : 철도선로구간, 노후도, 계층구조분석

1. 서 론

한정된 예산으로 철도선로시설을 개선하고자 할 때 사용할 수 있는 효과적인 예산배분 방법 중 하나는 가장 노후도가 심각한 선로구간부터 우선적으로 예산을 투입하는 것이다. 본 논문에서는 선로개선목적의 예산이 확보되어 있음을 전제로 어떤 선로구간부터 예산을 투입할 것인지를 결정하는 방안을 제시하고자 한다. 이러한 관점에서 선로구간의 노후도 상태에 대한 절대적 평가가 아닌 상대적 비교 즉 다른 구간에 비해 상대적으로 노후도가 심하다고 평가되는 선로구간을 찾는 방법에 초점을 둔다.

철도선로(railway line)는 철도차량이 주행하는 길로서 궤도, 노반, 분기기, 교량, 터널 등으로 구성되어 있다. 궤도는 레일, 침목, 도상 등으로 구성되어 있으며 노반과 함께 차량의 하중을 지지한다. 선로는 차량운행과 함께 노후화가 시작되는데, 이러한 노후화는 구조내력에 직접적으로 관련하여 나타날 수도 있고 사용성의 저하로 나타날 수도 있다. 노후도 평가에 관한 기존 연구는 터널[10], 레일[6,7], 교량[9] 등 선로구간을 구성하는 개별 요소의 유지보수 관점에서 수행되었다. 특히 Sasmal & Ramanjaneyulu[9]는 계층구조분석(analytic hierarchy process: AHP)을 활용하여 교량의 상

태를 평가하는 체계적 방법과 적용사례를 제시하였다. 현재 수행되고 있는 선로구간의 노후도 평가 역시 안전점검의 관점에서 시트법(시설물의 안전관리에 관한 특별법)에 의거하여 교량과 터널 등을 개별적으로 평가하거나 유지보수 관점에서 선로정비지침에 의거하여 궤도, 분기기, 노반 등을 개별적으로 평가하는 방식이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 궤도, 분기기, 노반, 교량, 터널 등 구성요소들의 노후도와 더불어 선로 노후도에 영향을 줄 수 있는 궤도의 선형 등을 반영한 선로구간의 노후도를 다수 선로구간에 대하여 상대적으로 평가하는 방법을 제시하고자 한다. 본 논문에서 제시하는 방법은 각 구성요소의 노후도 점수를 산정하고 이를 전문가들로부터 AHP를 사용하여 구한 가중치를 반영하여 선로구간 전체의 노후도 점수를 구하는 것이다. Saaty[8]가 개발하여 제시한 AHP는 다양한 평가요소를 종합적으로 반영하여 대안을 평가하는데 활용할 수 있는 다기준의사결정방법이다. AHP는 대안 및 평가요소의 계층구조 설정, 쌍체비교에 의한 평가요소의 가중치 산정, 대안의 평가요소별 점수 산정, 그리고 가중치를 적용한 대안의 평가점수 산정 등 4가지 단계로 구분할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1절의 서론에 이어 2절에서는 선로구간 노후도 평가문제를 계층구조의 형태로 제시한다. 3절에서는 AHP이론을 요약적으로 제시하고 AHP를 사용하여 전문가들로부터 평가요소 및 세부평가요소의 가중치를 구하는 과정을 제시한다. 4절에서는 사례로 사용할 4개

[†]교신저자 : 인하대학교 경영대학 경영학부
E-mail : shk7768@inha.ac.kr

의 선로구간에 대하여 평가요소별로 노후도 점수를 산정하는 과정을 제시한다. 5절에서는 결론 및 후속연구방향을 제시한다.

2. 선로구간 노후도 평가문제의 계층구조

AHP에서는 평가문제를 계층구조로 나타내고 이를 분석하여 평가를 수행한다. AHP의 계층구조(hierarchy)는 목표, 평가요소, 대안 등으로 구성된다. 필요할 경우 세부평가요소가 추가되기도 한다. Fig. 1은 본 논문에서 제시하고자 하는 선로구간 노후도 평가문제를 나타낸 계층구조이다. 계층구조의 최상위는 선로구간의 노후도를 평가하겠다는 목표이며 최하위는 평가의 대상이 되는 대안 즉 선로구간이다. 계층구조의 두 번째 수준과 세 번째 수준은 대안의 평가에 반영되는 평가요소와 세부평가요소이다.

Fig. 1 A hierarchy for evaluation of railway line deterioration

선로구간(railway line segments)의 노후도는 궤도, 노반, 분기기, 교량, 터널 등 선로구간을 구성하는 시설의 노후도로 결정되며 궤도의 선형 또한 선로구간 노후도에 영향을 준다. 궤도(track)는 도상(ballast)에 일정간격으로 설치한 침목 위에 두 줄의 레일을 평행하게 체결한 것으로 노반과 함께 차량하중을 직접 지지하는 역할을 하는 도상 윗부분의 설비이다. 궤도의 노후도 점수는 궤도검측차로 수집한 자료를 사용하여 산정할 수 있다. 궤도의 선형은 선로구간의 노후화에 영향을 줄 수 있다. 곡선이 심한 구간은 그렇지 않은 구간보다 노후화 관점에서 불리하다고 할 수 있다. 따라서 선형의 영향은 선로구간의 곡선화정도를 계수화하여 나타낼 수 있다.

교량과 터널은 시트법(시설물의 안전관리에 관한 특별법)에 의해 매년 실시하는 안전점검의 결과를 활용하여 노후도 점수를 산정할 수 있다. 한편 노반과 분기기는 시트법에 의한 안전점검 대상이 아니며 또한 검측장비로 수집한 자료를 활용하기도 어렵다. 본 논문에서는 보선사무소의 관리담당자가 판단한 등급을 활용하여 노반 및 분기기의 노후도 점수를 산정한다.

노반(subgrade)은 도상과 궤도를 지지하는 시공기면 이하를 의미한다. 노반은 반복하중에 의한 소성변형으로 침하

및 지지력저하 등의 연약화가 발생할 수 있으며 배수상태 또한 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 분기기(railroad switch)는 차량을 한 궤도에서 다른 궤도로 전환시키기 위하여 궤도에 설치한 설비를 의미하며 노후도 관점에서 중요한 요소로는 분기기의 재료, 구조, 마모상태 등을 들 수 있다.

3. 평가요소의 가중치 산정

AHP에서 측정 및 자료수집은 계층구조의 각 수준별로 요소(평가요소, 세부평가요소, 대안 등)에 대한 쌍체비교를 통해 이루어진다. 쌍체비교(pairwise comparison)는 인접한 상위수준 요소의 관점에서 비교대상인 두 요소의 상대적 중요도를 평가하는 작업이며 평가결과는 행렬의 형태로 나타낸다. 이 행렬의 성분값 a_{ij} 는 j 번째 요소에 대한 i 번째 요소의 상대적 중요도를 나타낸다. 이 행렬은 반사성(reflexivity) $a_{ii}=1$ 와 반비례성(reciprocity) $a_{ji}=1/a_{ij}$ 을 만족하는 것으로 가정한다. 따라서 요소가 n 개일 경우 $n(n-1)/2$ 회의 쌍체비교가 필요하다. 예를 들어 Fig. 1의 계층구조에서 6개의 평가요소에 대한 쌍체비교는 $15(=6 \times 5/2)$ 회가 필요하다.

한편 전문가의 판단으로 이루어지는 쌍체비교는 일관성이 완전하지 못할 수 있다. Saaty[8]는 쌍체비교행렬 A 의 최대고유치 $\lambda_{\max}$ 에 대응하는 정규화고유벡터 W 를 요소의 가중치로 사용하는 방안을 제시하였다. 쌍체비교행렬 A 의 각 열의 합계로 A 의 각 열의 요소를 나눈 후 각 행의 평균을 구하여 정규화고유벡터 W 의 근사값을 구할 수 있다[1]. 완전 일관성의 쌍체비교행렬의 최대고유치는 비교대상 요소의 수 n 과 같다. 따라서 $(\lambda_{\max}-n)$ 는 쌍체비교의 일관성 수준을 나타내는 지표로 사용할 수 있다. Saaty[11]는 일관성 수준을 판단하는데 사용할 수 있는 수단으로 일관성비율 $CR=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)/RI$ (여기서 RI 는 무작위쌍체비교행렬로부터 구한 값)을 제안하였다.

본 논문에서는 Fig. 1의 계층구조에서 평가요소 및 세부평가요소에 대한 쌍체비교자료를 철도시설공단, 연구단체, 건설 및 설계업체 등에 근무하는 39명의 철도전문가들로부터 Saaty의 9점척도를 사용하여 수집하였다. Table 1 ~ Table 3은 응답하지 않은 쌍체비교가 포함되어 있거나 또는 일관성 비율이 낮은 응답자를 제외한 18명의 응답내용을 기하평균으로 총괄하여 구한 쌍체비교행렬이다. Table 1은 6개의 평가요소에 대한 쌍체비교행렬을 나타낸 것이다. 이 표에서 가

Table 1 Weights and pairwise comparison matrix of 6 criteria

평가 요소	가중치	쌍체비교행렬 (CR=0.005)					
		궤도	선형	노반	분기기	교량	터널
궤도	0.229	1.00	1.92	1.45	1.31	1.36	1.60
선형	0.118	0.52	1.00	0.69	0.79	0.68	0.75
노반	0.170	0.69	1.44	1.00	0.90	1.07	1.37
분기기	0.174	0.76	1.26	1.11	1.00	1.28	1.03
교량	0.168	0.74	1.47	0.93	0.78	1.00	1.46
터널	0.141	0.62	1.33	0.73	0.97	0.68	1.00

Table 2 Weights and pairwise comparison matrix of 2 subcriteria of subgrade

노반	가중치	쌍체비교행렬	
		배수상태	연약화율
배수상태	0.406	1.000	0.683
연약화율	0.594	1.463	1.000

Table 3 Weights and pairwise comparison matrix of 3 subcriteria of railroad switch

분기기	가중치	쌍체비교행렬 (CR=0.004)		
		재료	구조	마모
재료	0.210	1.000	0.719	0.408
구조	0.313	1.390	1.000	0.703
마모	0.478	2.453	1.422	1.000

중치는 쌍체비교행렬의 최대고유치에 대응하는 정규화고유 벡터이며 괄호안에 나타낸 CR은 일관성비율이다.

Table 2는 평가요소 ‘노반’의 2개 세부평가요소인 ‘배수상태’와 ‘연약화율’에 대한 쌍체비교행렬과 가중치이다. Table 3은 평가요소 ‘분기기’의 3개 세부평가요소 ‘재료’, ‘구조’, ‘마모상태’ 등에 대한 쌍체비교행렬과 가중치를 나타낸 것이다.

4. 선로구간의 평가요소별 점수 산정

본 절에서는 4개의 사례 선로구간을 사용하여 평가요소별 노후도 점수를 산정하는 방법과 과정을 제시한다. Table 4는 사례로 사용할 4개 선로구간의 특징을 나타낸 것이다. 이 표에서 시점과 종점은 소속선의 기준역을 비교기준으로 나타낸 선로구간의 시작위치와 종료위치이다.

Table 4 Example railway line segments (unit: meter)

선로구간	소속선	선기준역	시점	종점	길이
구간 1	중앙선	청량리	295,860	304,504	8,644
구간 2	영동선	영주	69,175	76,845	7,670
구간 3	중앙선	청량리	114,078	117,461	3,383
구간 4	태백선	제천	25,284	31,011	5,727

궤도, 선형, 노반, 분기기, 교량, 터널 등의 평가요소 관점에서 선로구간의 노후도를 쌍체비교의 형태로 평가하는 것 보다는 개별 선로구간의 노후도를 비율이나 등급의 형태로 평가하는 것이 더 용이하다. AHP에서 대안의 평가요소별 점수가 비율이나 등급자료의 형태로 주어질 경우 합계점수가 1이 되도록 정규화한 후 평가요소 또는 세부평가요소의 가중치를 적용하여 대안의 종합점수를 구할 수 있다[2,12].

궤도 및 선형의 경우 검측장비로 수집한 자료 또는 곡선 현황 자료를 노후도 평가에 활용할 수 있다. 교량 및 터널의 경우는 시투법에 의해 매년 실시하는 안전점검의 결과자

료를 노후도 평가에 활용할 수 있다. 시투법에 의한 안전점검 결과자료나 검측장비로 수집한 자료의 활용이 어려운 분기기와 노반의 경우는 보선관리소의 관리담당자가 판단한 등급을 노후도 평가에 활용할 수 있다.

4.1 궤도 및 선형

궤도검측차는 궤도의 궤간(gauge), 면맞춤(profile), 줄맞춤(alignment), 비틀림(twist), 수평(super-elevation) 등의 종류별로 불량상태에 있는 구간 길이를 측정하여 기록한다. 궤도 불량률은 검측연장에 대한 불량연장의 비율로 정의할 수 있다. 검측연장은 검측대상 선로구간의 길이를 말한다. 불량연장은 입체불량수준을 나타내는 비틀림불량의 길이와 평면불량수준을 나타내는 줄맞춤불량의 길이의 합으로 나타낼 수 있다. Table 5는 사례 선로구간의 검측연장, 비틀림불량 길이, 줄맞춤불량 길이, 불량연장, 궤도불량률 등을 나타낸 것이다. 이 표에서 궤도점수는 궤도불량률을 정규화한 값이다. 예를 들어 ‘구간 1’의 궤도점수 0.039는 궤도불량률 0.59를 궤도불량률 합계 14.96(=0.59+3.53+6.27+4.57)로 나눈 값이다. 궤도검측차 자료로 구한 4개 선로구간의 궤도점수를 살펴보면 ‘구간 1’이 0.039점으로 궤도의 노후도가 가장 적게 나타났고, ‘구간 3’이 0.419점으로 궤도의 노후도가 가장 심한 것으로 나타났다.

곡선이 심한 선로구간은 그렇지 않은 선로구간보다 노후화 관점에서 불리하다. 선형이 노후화에 미치는 영향은 곡선계수의 형태로 나타낼 수 있으며 본 논문에서는 이를 궤도검측차 자료에 반영되지 못한 궤도의 노후도를 나타내는 지표로 사용한다. 곡선구간을 곡선반경 300이하, 300~600, 600이상 등 3가지로 구분하고 각 구간의 곡선연장에 순서대로 1.5, 1.2, 1 등의 가중치를 적용한 가중합계를 궤도연장으로 나누어 곡선계수를 구하였다. Table 6은 사례 선로구간의 곡선계수와 이를 정규화하여 구한 선형점수를 나타낸 것이다. 선형점수를 살펴보면 ‘구간 1’이 0.174점으로 곡

Table 5 Deterioration score of tracks (unit: meter, %)

선로구간	검측연장	비틀림 불량 길이	줄맞춤 불량 길이	불량연장	궤도 불량률	궤도 점수
구간 1	8644	0	51	51	0.59	0.039
구간 2	7670	14	257	271	3.53	0.236
구간 3	3383	6	206	212	6.27	0.419
구간 4	5727	67	195	262	4.57	0.306

Table 6 Deterioration score of line shape (unit: kilometer)

선로구간	곡선연장			곡선연장 가중합계	궤도연장	곡선계수	선형점수
	300 이하	300~600	600 이상				
구간 1	0.00	1.31	2.35	3.92	8.64	45.4	0.174
구간 2	3.66	2.21	0.00	8.13	7.67	106.1	0.406
구간 3	0.00	1.19	0.41	1.84	3.38	54.3	0.208
구간 4	1.11	0.64	0.72	3.16	5.73	55.2	0.212

선화정도가 가장 약한 것으로 나타났고, '구간 2'는 0.406점으로 곡선화정도가 가장 심한 것으로 나타났다.

4.2 교량 및 터널

교량과 터널은 시트법에 의해 매년 안전점검을 실시하며 안전등급은 A(최상), B(양호), C(보통), D(미흡), E(불량) 등의 5등급으로 부여된다. Table 7과 Table 8은 각각 사례 선로구간에 속해 있는 교량과 터널의 2010년도 안전등급을 나타낸 것이다. 이들 표에서 ( )안의 점수는 A=1, B=2, C=3, D=4, E=5 등으로 각 등급에 점수를 부여하고 해당 선로구간에 속한 교량 또는 터널들의 평균등급점수를 구한 것이며 [ ]안의 점수는 ( )의 평균등급점수를 정규화하여 구한 교량 점수이다. Table 7의 [ ]에 나타낸 교량점수를 살펴보면 '구간 2'가 0.203점으로 교량의 노후도가 가장 낮게 나타났고, '구간 4'가 0.305점으로 교량의 노후도가 가장 심한 것으로 나타났다. 한편 '구간 3'에는 터널이 없으며 Table 8의 [ ]에 나타낸 터널점수는 3개 선로구간의 평균등급점수를 정규화하여 구한 것이다. 터널점수를 살펴보면 '구간 2'가 0.265점으로 터널의 노후도가 가장 적은 것으로 나타났고, '구간 1'과 '구간 4'는 0.367점으로 터널 노후도가 같은 것으로 나타났다.

Table 7 Safety grade and deterioration score of bridges

선로구간	교량	안전 등급	선로구간	교량	안전 등급
구간 1 (2.167) [0.220]	교량 1	B	구간 2 (2.000) [0.203]	교량 1	C
	교량 2	B		교량 2	B
	교량 3	B		교량 3	A
	교량 4	B		교량 4	B
	교량 5	B	구간 3 (2.667) [0.271]	교량 1	C
	교량 6	C		교량 2	B
구간 4 (3.000) [0.305]	교량 1	C		교량 3	C
	교량 2	C			

Table 8 Safety grade and deterioration score of tunnel

선로구간	터널	안전 등급	선로구간	터널	안전 등급
구간 2 (2.167) [0.265]	터널 1	B	구간 1 (3.000) [0.367]	터널 1	C
	터널 2	C			
	터널 3	B			
	터널 4	B	구간 4 (3.000) [0.367]	터널 1	C
	터널 5	B		터널 2	C
	터널 6	B			
	터널 7	C			

4.3 분기기 및 노반

분기기와 노반은 시트법에 의한 안전점검 결과자료나 검측장비로 수집한 자료의 활용이 어렵다. 본 연구에서는 보선관리사무소의 관리담당자가 분기기와 노반의 세부평가요소에 대하여 판단한 등급자료를 활용하여 노후도 점수를 평가한다. 분기기의 재료는 '망간'과 '일반'으로 구분되며 본 연구에서는 상대적으로 강한 '망간'은 A(최상)등급으로 나타내고 '일반'은 B(양호)등급으로 나타낸다. 분기기의 구조는 '탄성'과 '조립'으로 구분되며 상대적으로 강한 '탄성'은 A(최상)등급으로 나타내고 '조립'은 B(양호)등급으로 나타낸다. 분기기 마모상태와 노반의 배수상태 및 연약화율 등은 보선사무소의 관리담당자가 A(최상), B(양호), C(보통), D(미흡), E(불량)의 5등급으로 판단한 등급자료를 활용한다.

Table 9는 4개 사례 선로구간에 속한 분기기의 세부평가요소별 등급을 나타낸 것이다. Table 10은 분기기의 세부평가요소별 평균등급점수와 정규화점수 그리고 정규화점수를 Table 3의 가중치를 적용하여 가중합계한 분기기점수를 나타낸 것이다. Table 10에서 평균등급점수는 교량 및 터널에서와 마찬가지로 각 등급에 A=1, B=2, C=3, D=4, E=5로 점수를 부여한 후 계산한 것이다.

Table 10의 분기기점수를 살펴보면 '구간 2'가 0.193점으로 분기기의 노후도가 가장 작은 것으로 나타났으며 '구간 4'가 0.285점으로 분기기의 노후도가 가장 심한 것으로 나타났다. Table 11은 4개 사례 선로구간의 노반에 대한 세부평가요소별 등급을 나타낸 것이다. Table 12는 각 선로구간의 노반에 대한 등급점수, 정규화점수, 그리고 정규화점수에 Table 2의 가중치를 적용하여 가중합계한 노반점수를 나타

Table 9 Deterioration grade of railroad switches

선로구간	분기기	재료	구조	마모상태
구간 1	1호	A	B	B
	2호	A	B	B
구간 2	1호	A	B	A
	2호	A	B	A
구간 3	1호	A	B	B
	2호	A	B	B
구간 4	1호	B	B	B
	2호	A	B	B

Table 10 Deterioration score of railroad switches

선로구간	평균등급점수			정규화점수			분기기 점수
	재료	구조	마모 상태	재료	구조	마모 상태	
구간 1	1.0	2.0	2.0	0.22	0.25	0.29	0.261
구간 2	1.0	2.0	1.0	0.22	0.25	0.14	0.193
구간 3	1.0	2.0	2.0	0.22	0.25	0.29	0.261
구간 4	1.5	2.0	2.0	0.33	0.25	0.29	0.285

Table 11 Deterioration grade of subgrade

선로구간	배수상태	연약화율
구간 1	C	B
구간 2	C	B
구간 3	C	B
구간 4	C	B

Table 12 Deterioration score of subgrade

선로구간	배수 상태	연약 화율	배수 상태	연약 화율	노반 점수
구간 1	3	2	0.25	0.25	0.25
구간 2	3	2	0.25	0.25	0.25
구간 3	3	2	0.25	0.25	0.25
구간 4	3	2	0.25	0.25	0.25

낸 것이다. Table 12의 노반점수를 살펴보면 4개 선로구간 모두 0.25점으로 노후도 같게 평가되었다.

5. 선로구간의 노후도 종합점수 산정

Table 13은 4개 사례 선로구간의 평가요소별 점수와 Table 1의 가중치를 적용하여 가중합계로 계산한 노후도 종합점수를 나타낸 것이다. Table 13에서 종합점수1은 궤도, 선형, 교량, 터널, 분기기, 노반 등 6개의 평가요소점수를 모두 반영하여 구한 노후도 종합점수이고, 종합점수2는 터널의 점수를 제외한 나머지 5개의 평가요소점수를 반영하여 구한 노후도 종합점수이다. 터널이 없는 '구간 3'은 터널점수가 없으며 이 때문에 6개의 평가요소점수가 모두 필요한 종합점수1 대신 종합점수2만 계산되었다. '구간 3'을 제외한 나머지 3개 선로구간의 종합점수1과 종합점수2는 같은 순위를 유지하는 것으로 나타났다.

Table 13의 종합점수2를 살펴보면 '구간 1'이 0.155점으로 가장 적게 노후화 한 것으로 나타났고, '구간 3'이 0.254점으로 가장 심하게 노후화 한 것으로 나타났다. 이러한 결과

Table 13 Deterioration score of alternative railway line segments

선로구간 평가요소	구간 1	구간 2	구간 3	구간 4
궤도	0.039	0.236	0.419	0.306
선형	0.174	0.406	0.208	0.212
교량	0.220	0.203	0.271	0.305
터널	0.367	0.265		0.367
분기기	0.261	0.193	0.261	0.285
노반	0.250	0.250	0.250	0.250
종합점수1	0.206	0.250		0.290
종합점수2	0.155	0.212	0.254	0.238

를 기초로 한정된 예산의 투자의사결정을 할 때 투자우선순위는 '구간 3' > '구간 4' > '구간 2' > '구간 1'의 순서로 반영할 수 있을 것이다.

6. 결 론

본 논문에서는 Saaty[8]가 제안한 계층구조분석(analytic hierarchy process: AHP)을 활용하여 선로구간의 노후도를 평가하는 방안을 사례와 함께 제시하였다. 본 논문에서 제시한 방안은 선로구간의 노후도를 궤도, 선형, 교량, 터널, 분기기, 노반 등 6개의 평가요소 관점에서 각 선로구간의 평가요소점수를 각 평가요소의 가중치를 반영한 가중합계로 구하는 것이다. 평가요소의 가중치는 전문가들로부터 수집한 쌍대비교자료를 활용하여 AHP이론에 의해 구하였고, 선로구간의 평가요소점수는 비율 또는 등급자료를 활용하여 산정하였다. 본 논문에서 제시한 방법은 선로구간의 노후도 개선을 위한 효과적인 예산배분에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

궤도, 노반, 분기기, 교량, 터널 등은 노후도 관점에서 서로 다른 특성을 가지고 있다. 예를 들어 노반은 배수상태와 연약화율이 중요하며 분기기는 재료, 구조, 마모상태 등이 중요하다. 궤도는 궤간, 면맞춤, 줄맞춤, 비틀림, 수평 등의 설정기준관점에서 얼마나 벗어나 있는가가 중요하며 궤도의 선형 또한 중요하게 작용한다. 이러한 배경에서 구성요소의 공통된 노후도 평가요소를 추출하는 것 보다는 각 구성요소의 노후도를 종합적 노후도의 평가요소 설정하는 것이 더 타당하다 판단하였다. 그러나 이러한 설정은 평가요소들이 독립성을 가지고 있어야 한다는 AHP이론의 전제조건에 부합되지 않는 한계점을 가지고 있다. 예를 들어 궤도불량과 선형 및 분기기의 재료와 마모상태는 서로 독립적이지 않고 연관성을 가질 수 있다. 향후 이러한 한계점을 극복하기 위한 연구가 필요하다고 판단된다.

한편 본 논문에서는 다수의 전문가들로부터 수집한 쌍대비교자료를 총괄하는 방법으로 AHP에서 전통적으로 사용되고 있는 기하평균을 활용하였다. 최근 자료포락분석(data envelopment analysis: DEA)을 활용하여 다수 전문가들의 다양한 의견을 평균적인 총괄 없이 반영하여 대안의 종합점수를 산정할 수 있는 방안이 제시된 바 있다[3-5]. 철도선로구간의 노후도 평가에서 DEA모형을 활용하는 방안의 검토는 전문가들의 다양한 의견을 평균적인 총괄 없이 반영할 수 있다는 측면에서 후속연구로 수행할 가치가 있다고 판단된다. 또한 기존 철도사고자료, 유지관리예산 이력자료 등과 같은 정량적 자료를 분석하여 평가요소의 가중치를 산정하는 방안에 대한 후속연구도 필요하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원에서 수행하고 있는 「남북 및 대륙철도의 실용주의적 진흥을 위한 상호 연계기술개발」 사업의 지원을 받아 이루어 졌음을 밝힙니다. 또한 선

로관련 자료를 제공해 주신 한국철도공사의 경북북본부와 충북본부에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] D.R. Anderson, D.J. Sweeney, T.A. Williams, K. Martin (2011) An Introduction to Management Science: Quantitative Approaches to Decision Making 13th ed., Canada: South-Western Cengage Learning.
- [2] A.M. Bahurmoz (2003) "The Analytic Hierarchy Process at Dar Al-Hekma, Saudi Arabia," *Interfaces*, 33(4), pp. 70-78.
- [3] W.D. Cook, J. Zhu (2008) "CAR-DEA: Context-Dependent Assurance Regions in DEA," *Operations Research*, 56(1), pp. 69-78.
- [4] G. Koksall, B. Nalcaci (2006) "The Relative Efficiency of Departments at a Turkish Engineering College: A Data Envelopment Analysis," *Higher Education*, 51(2), pp. 173-189.
- [5] S.-T. Liu (2008) "A fuzzy DEA/AR approach to the selection of flexible manufacturing systems," *Computers & Industrial Engineering*, 54(1), pp. 66-76.
- [6] Y.G. Park, S.K. Suh, J.Y. Choi (2008) "Logicality Estimate for Domestic the Periodic Replacement Criteria of CWR based on Accumulated Passing Tonnage," *Journal of the Korean Society for Railway*, 11(3), pp. 326-333.
- [7] Y.G. Park, D.Y. Sung, H.K. Park, S.Y. Kong (2008) "Bending Fatigue Life Assessment of Aged CWR using the Field Test," *Journal of the Korean Society for Railway*, 11(3), pp. 317-325.
- [8] T.L. Saaty (1977) "A Scaling Method for Priorities in Hierarchy Structures," *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), pp. 234-281.
- [9] S. Sasmal, K. Ramanjaneyulu (2008) "Condition Evaluation of Existing Reinforced Concrete Bridges using Fuzzy based Analytic Hierarchy Approach," *Expert Systems with Applications*, 35(3), pp. 1430-1443.
- [10] T. Sato, A. Sutoh, H. Nishi, H. Arai (2011) "Identification of Correlation between Demand Performances to Damage of Lining Concrete for Tunnel Management," *Procedia Engineering*, 14, pp. 529-534.
- [11] T.L. Saaty (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill.
- [12] S.F. Weber (1993) "A Modified Analytic Hierarchy Process for Automated Manufacturing Decisions," *Interfaces*, 23(4), pp. 75-84.

접수일(2011년 10월 17일), 수정일(2011년 11월 18일),
게재확정일(2011년 11월 21일)