

콘크리트 옹벽의 성능위주평가를 위한 평가항목 분석 연구

이동율 · 성주현* · 정해상* · 오태근†

인천대학교 안전공학과 · *한국시설안전공단

(2015. 8. 26. 접수 / 2015. 10. 14. 수정 / 2015. 10. 20. 채택)

Analysis on the Current Evaluation items for the Performance-focused Management of the Concrete Retaining Wall

Dong Yul Lee · Joo Hyun Seong* · Hae Sang Jeong* · Tae Keun Oh†

Department of Safety Engineering, Incheon National University

*Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation

(Received August 26, 2015 / Revised October 14, 2015 / Accepted October 20, 2015)

Abstract : Recently, one of countermeasures against aging SOC infrastructures, performance-focused management including the serviceability, functionality, durability, and economics has been changed from the structural safety-focused evaluation has changed into The current inspection and diagnosis for the major SOC facilities in Korea has been carried out by the specific principle of details, and most of them checked by the visual inspection are focused on the repair and rehabilitation of the damaged structures, thus they are the preventive maintenance. However, the performance-focused management should be replaced for the effective and economic maintenance as wells as for the minimization of the damage. In this regard, this study the appropriacy of the current evaluation items about the concrete retaining wall, one of SOC infrastructures as the previous step forward the performance-focused management. In order to deduct the effective evaluation items in order, the entropy, analytic hierachy process (AHP), and promethee analysis were performed and the results were compared and discussed.

Key Words : SOC infrastructures, performance-focused management, safety-focused evaluation, entropy, analytic hierachy process, promethee analysis

1. 서론

1970년대 이후로 건설된 SOC 시설물의 노후가 현재 상당히 진행 중이고 추후에 대규모로 감당하지 못할 수준에 다다를 것으로 예상된다. 현재의 SOC 유지관리 시스템이 유지될 경우, 고령화에 따른 SOC 교체 및 관리 비용이 급증하여 막대한 재정이 소요될 것으로 분석되며, 따라서 구조적 안전성 확보는 물론 성능유지, 감가상각 등을 고려하는 종합적 경제성 분석을 통해 한정된 재정을 효율적으로 투자할 수 있는 SOC 시설물 유지관리 체계로의 전환이 필요할 것으로 판단된다¹⁾. 즉, 성능 유지 및 향상, 감가상각 등 자산관리 개념을 고려하는 종합적 비용/편익 분석 등을 통해 한정된 국가 재정을 효율적으로 분배하고 집행할 수 있는 정책 및 제도적 기반 구축 필요한 시점이 되었으며, 이

를 위하여 국토교통부에서는 SOC 시설물의 고령화에 따른 대책 마련의 일환으로서 SOC 시설물의 안전평가 방식을 안전성 위주의 평가에서 사용성, 기능성, 내구성, 경제성 등의 성능을 고려한 성능중심 관리체계로 전환하기 위해 노력중이다²⁾. 성능중심 관리체계란 예방적 유지관리체계로서 조사시점 기준을 시설물의 물리적 상태와 구조적 안정성 평가발식으로 진행해오던 것을 장기적 관점의 성능저하, 사용성 등을 고려한 실질적 평가로 바꾸는 것을 의미한다.

현재 교량, 댐, 터널 등의 국가 주요시설물의 점검·진단 업무의 실시방법 및 절차 등을 규정한 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침을 마련하여 적용하고 있으나 이는 육안점검에 기반을 둔 파손 및 붕괴시설물 보수와 같은 사고 예방형 유지관리와 구조적 안정성만이 이루어지고 있는 실정으로 성능중심 관리체계로의 전

† Corresponding Author : Tae Keun Oh, Tel : +82-32-835-8294, E-mail : tkoh@inu.ac.kr
Department of Safety Engineering, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon 22012, Korea

환은 효율적인 유지관리로 비용이 절감되고, 시설물 성능저하에 따른 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 SOC 시설물 중 하나인 콘크리트 옹벽에 대한 성능중심 평가 시스템 구축을 위한 일환으로 내구성, 사용성 등에 대한 다양한 지표를 발굴하기 위해 현재 세부지침의 평가항목에 대하여 중요도 및 우선순위를 산정하여 추후에 이루어 질 성능중심 평가 항목의 선정에 밑받침이 되는 연구를 수행하였다. 이에 현재 시행중인 세부지침에 따른 평가항목별 가중치, 객관적 가중치(엔트로피), 전문가를 대상으로 실시한 설문조사 결과에 따른 주관적 가중치(AHP) 및 다기준 의사결정 방법인 PROMETHEE 분석 기법에 대한 비교·분석을 통해 옹벽의 안전취약요소를 발굴하고, 우선순위를 도출하여 성능중심의 평가를 위한 진단항목으로 활용하고자 하였다.

2. 한국 시설안전공단 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(옹벽)

국내에 분포하는 옹벽은 재료형식에 따라 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 석축 및 돌망태 옹벽으로 구분할 수 있으며, 콘크리트 옹벽은 다시 구조물의 형태 및 작용원리에 따라 크게 중력식, 반중력식, 블록쌓기, 캔틸레버식, 부벽식 옹벽, 선반식, 공벽식 등 18가지로 세분화될 수 있다. 현재, 콘크리트 옹벽에 대한 평가항목은 Table 1과 같이 총 18가지이며 대부분 평가항목의 결합점수 최대치는 4점이다. 한편, 배수공상태, 세굴, 균열 등은 12점, 16점, 8점으로 다른 항목에 비해 높은 점수구분을 가지고 있다³⁾.

Table 1. Condition evaluation items for concrete retaining wall

Position	Evaluation items
Foundation	<ul style="list-style-type: none"> ○ Settlement ○ Sliding ○ Overturning ○ Scour
Front Wall	<ul style="list-style-type: none"> ○ Breakage & Damage ○ Crack ○ Abrasion/Erosion ○ Condition of Drainage ○ Carbonation ○ Chloride ○ Exfoliation & Delamination ○ Peeling off ○ Efflorescence ○ Reinforce Exposing
Others	<ul style="list-style-type: none"> ○ Drain system ○ Slope gradient ○ Rackfall trace ○ Leachate

또한 동 지침에서는 현장에서 쉽게 손상상태를 평가할 수 있는 방법을 제시하고 있으며 각각의 평가항목에 대한 상태평가는 가장 대표적인 것을 기준으로 하여 결정하도록 제시하고 있다. 각 상태평가항목별 결합점수를 측정함으로써 대상 옹벽의 최종 결합지수를 산정할 수 있고 산정된 결합지수에 따라 상태평가 기준을 A~E까지 5단계로 구분하고 있다

3. 성능평가 항목별 가중치 결정 및 중요 성능평가 항목 검토

본 연구에서는 콘크리트 옹벽의 취약요소 우선순위를 결정하기 위한 평가항목별 가중치 산정에 대하여 객관적 가중치(엔트로피), 주관적 가중치(AHP) 다기준 의사결정(PROMETHEE)을 적용하였으며 그 이론적 배경은 다음과 같다.

3.1 ENTROPY 기법 (객관적 가중치 산정)

엔트로피 기법은 의사결정자의 주관적 판단에 의존하지 않고 구성된 의사결정문제의 데이터에 의해서만 가중치를 계산할 수 있는 객관성이 검증된 방법이다. 엔트로피 기법은 대안과 속성을 많이 포함하는 현실적인 다기준의사결정 문제에 대해 의사결정자가 비교적 이해하기 쉬운 정보이론 방법을 적용하는 것이다. 즉, 각 속성의 빈도수를 기반으로 응집도가 높은 속성을 발견하여 가중치를 높게 부여하는 방법이다⁴⁾. 이는 어떠한 체계 내에서 그 신호에 대한 정보를 수치로 나타낸다는 의미이고, 엔트로피가 크다는 의미는 불확실성이 감소한다는 의미로 해석된다. 이 기법은 미리 정의된 제한조건을 만족하면 그 외의 사항에 대해서는 균일 분포(Uniform distribution)를 갖는 확률 모델이다. 최대엔트로피는 이산 무작위변량 $X = \{X_n\}$ 의 확률 $p(X_n)$ 분포가 가지는 엔트로피량으로 정의되며, 최대엔트로피 $H(X)$ 는 X 가 가지고 있는 불확실성 또는 정보용량을 의미하며, 식 (1)과 같이 정의된다⁴⁾.

$$H(X) = - \sum_{\forall x} p(x) \cdot \ln p(x) \quad (1)$$

일반적으로 이산확률 변수 X 가 균일 분포를 따르는 경우 그 엔트로피는 최대가 된다. 따라서 최대 엔트로피 모델이 미지의 사실에 대해서 균일 분포를 갖는 것은 미지의 내용에 대해서는 모델의 엔트로피가 최대가 된다는 것을 의미한다. 이는 주어진 여러 사건에 대해 명확하게 구분할 정보가 없을 때는 두 사건이 똑같은

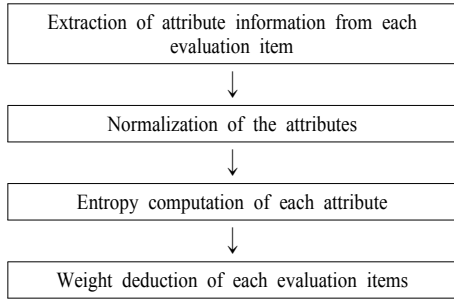


Fig. 1. Procedure of entropy analysis.

확률로 발생한다고 간주하는 것이며, 이는 불확실성 감소의 최대화, 즉 엔트로피의 최대화를 의미한다.

엔트로피 방법을 이용하여 지표별 가중치를 구하기 위한 산정 절차는 다음과 같다. 먼저 각 지표의 구축된 값을 이용해 행렬을 구성하고 구성된 지표별로 속성정보를 정규화 한다. 정규화 된 자료를 이용하여 각 속성별 엔트로피를 산정한 후 최종적으로 지표간의 가중치를 결정하게 된다. 이러한 과정을 간단히 정리하면 아래 그림과 같으며 실제 분석 방법은 Fig. 1과 같다.

3.2 AHP 기법 (주관적 가중치 산정)

다중의사결정기법으로 많이 사용하고 있는 AHP (Analytic Hierarchy Process) 분석은 적용방법이 용이하고 계층적 평가구조에 따라 척도산정, 가중치 산정절차가 이론적으로 높이 평가되고 있으므로, 각 분야의 집단의 사결정 지원시스템으로 광범위하게 활용되고 있다.

AHP는 상대평가법과 절대평가법이 있으며, 각 평가항목간과 대체안간 혹은 평가항목과 대체안간에 종속성이 있는 경우에 대하여 내부 종속법, 외부 종속법으로 구분하고 있다. 또한 이와 같이 다른 계층간에서 종속성이 있는 경우에는 동시에 표현할 수 있는 ANP (Analytic Network Process)가 제안되어 적용분야도 크게 확대되고 있는 실정이다⁵⁾.

AHP는 의사결정 문제를 계층화한 후 상위 계층에 있는 평가 요소의 관점에서 하위 계층에 있는 요소들의 상대적 중요도를 쌍대비교에 의해 측정한다. 이러한 방식을 통해 AHP는 궁극적으로 최하위 계층에 있는 대안들의 가중치 또는 우선순위를 구할 수 있도록 한다. 따라서 AHP는 정량적인 요소뿐만 아니라 정성적인 요소도 동시에 평가할 수 있으며, 평가자로 하여금 쌍대비교를 통해서 한번에 둘씩 비교하게 함으로써 평가를 수월하게 해준다. 또한 평가자의 의견에 관한 일관성을 검증할 수 있는 방법이 있어서 평가결과의 신뢰성을 높일 수 있다.

AHP를 이용하여 의사결정과 관련한 문제를 해결하

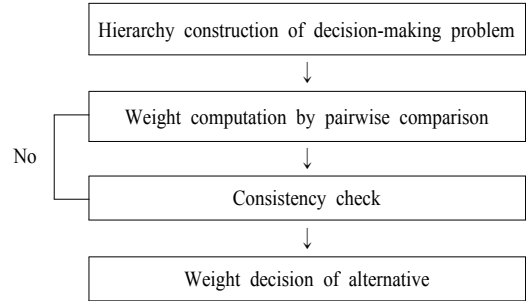


Fig. 2. Procedure of AHP analysis.

기 위해서는 일반적으로 Fig. 2와 같이 4단계의 과정을 걸쳐 적용된다.

의사결정 또는 평가문제의 시발점은 한 명의 의사결정자 또는 평가자가 쌍대비교에 의하여 평가요소에 대한 상대적인 중요도를 판단하는 일에서부터 출발하지만, 실제적으로 현실세계를 둘러싸고 있는 불확실성 때문에 복잡한 문제일수록 다수의 평가자를 필요로 한다. AHP도 마찬가지로 출발은 평가에 가장 적합한 한 명의 평가자를 가정하여 개발되었으나, 많은 현실문제에 의하여 다수의 평가자 참여가 필요하게 되었다.

3.3 PROMETHEE 기법 (다기준 의사결정법)

PROMETHEE 기법은 선호유출량과 선호유입량의 개념을 이용하여 대안들의 순위선호를 결정하는 방법으로 Brans에 의해 1982년 제안되었다⁶⁾. 여기에서 순위선호란 이원비교를 기초로 대안 a가 대안 b보다 미흡하지 않은 대안이라고 판단되면 두 대안 a와 b의 수학적 지배관계가 존재하지 않더라도 대안 a를 선택하려는 의사결정자의 주관적 선호 성향을 의미하며 PROMETHEE 기법의 분석과정은 Fig. 3과 같다.

임의의 평가기준 j에 대한 선호함수 값은 식 (2)로 정의되며 두 대안 a와 b의 평가 점수 차이에 대한 평가자의 선호 성향을 반영하는 함수의 값을 말한다. 두 대

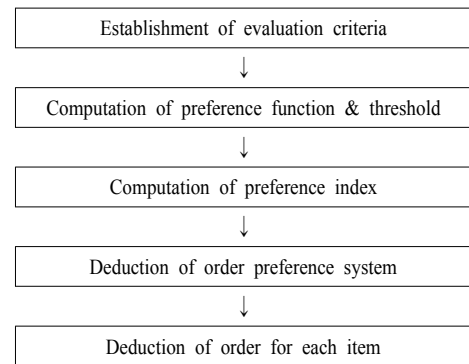


Fig. 3. Procedure of PROMETHEE analysis.

안 a와 b의 평가 점수 차이 $x_j \geq 0$ 은 평가기준 j에서 대안 a의 평가점수가 대안 b보다 높은 것을 보여주며, 일반적으로 대안 a, b에 대한 평가 점수의 편차 차이를 0과 1사이로 표현할 수 있다.

$$H(x_j) = \begin{cases} p_j(a, b), & x_j \geq 0 \\ p_j(b, a), & x_j \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

선호함수의 종류와 선호 임계치를 결정하기 위해서는 의사결정자가 평가기준별로 대안에 따라 충분한 경험 및 근거를 바탕으로 결정하게 된다. 이에 따라 선호 함수와 선호임계치가 결정되면 내부 알고리즘에 의하여 대안들 간에 쌍대비교가 자동적으로 실시된다. 선호지수를 이용하여 선호유출량과 선호유입량, 그리고 순흐름량을 구할 수 있다. 선호유출량은 대안 a가 나머지 모든 대안들을 지배하는 정도를 나타내며 선호유출량 값이 커질수록 대안 a가 나머지 대안들보다 우월하다는 것을 의미한다. 반면 선호유입량은 대안 a가 나머지 모든 대안에 의하여 지배되는 정도를 나타내며 값이 커질수록 대안 a가 나머지 대안들보다 열등함을 나타낸다.

PROMETHEE 기법은 선호유출량과 선호유입량을 이용하여 선호관계를 순위선호관계, 무차별한 관계, 비교 불가능한 관계로 구분하여 대안들의 우선순위를 산정하지만 비교 불가능한 경우를 제외시키기 위해 순흐름량을 통하여 모든 대안들의 우선순위를 산정하게 된다.

4. 각 분석방법별 항목 가중치 산정

앞서 언급된 객관적 가중치(엔트로피), 주관적 가중치(AHP) 다기준 의사결정(PROMETHEE)을 적용하여 세부지침의 평가항목 및 기준에 따라 1972년부터 2012년까지 준공된 302개소의 콘크리트 옹벽 점검 데이터를 기반으로 한 각각의 항목별 가중치 산정 및 중요도 분석을 실시하였고 그 결과는 다음과 같다.

4.1 ENTROPY 기법

콘크리트 옹벽을 종류별로 살펴보면 중력식, 반중력식, 캔틸레버식, 부벽식, 뒷부벽식 등 총 28종으로 구분되었으며 가중치를 산정하고자 종류별 18가지 평가항목 특성을 바탕으로 정규화된 행렬을 구성한 후 정규화된 값을 바탕으로 각 속성별 엔트로피(Entropy)를 산정하였다. 또한 다양성의 정도(Diversity)를 고려하여 정도를 고려함으로써 정규화된 평가항목간 가중치(weight)를 산정하였고 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Results of Entropy analysis for 18 evaluation items

Evaluation items	Entropy	Diversity	Weight	Order
Scour	0.2069	0.7931	0.0738	1
Chloride	0.2966	0.7034	0.0654	2
Sliding	0.3690	0.6310	0.0587	3
Leachate	0.3734	0.6266	0.0583	4
Rockfall trace	0.3762	0.6238	0.0580	5
Breakage & Damage	0.3854	0.6146	0.0572	6
Carbonation	0.3893	0.6107	0.0568	7
Efflorescence	0.4196	0.5804	0.0540	8
Settlement	0.4197	0.5803	0.0540	9
Overturning	0.4216	0.5784	0.0538	10
Peeling off	0.4273	0.5727	0.0533	11
Exfoliation & Delamination	0.4284	0.5716	0.0532	12
Reinforcement Exposing	0.4419	0.5581	0.0519	13
Abrasion/Erosion	0.4526	0.5474	0.0509	14
Drainage condition	0.4556	0.5444	0.0506	15
Slope gradient	0.4565	0.5435	0.0506	16
Drain system	0.4616	0.5384	0.0501	17
Crack	0.4667	0.5333	0.0496	18

정밀점검 데이터 기반의 객관적 가중치 산정결과, 세굴 항목이 전체 가중치의 약 7.38%에 해당하는 것으로 나타났고, 염화물, 활동이 각각 약 6.54%, 약 5.87%로 나타났다. 반면에 균열은 약 4.96%로 평가항목들 중 가중치가 가장 낮게 나타났다. 여기서 가중치의 높고 낮음은 취약함을 의미하는 것으로서 위험성에 노출되어 있는 것으로 볼 수 있다. 콘크리트 옹벽 302개소에 대한 현장조사 통계자료에 따르면 최종 평가결과가 C등급 이하인 곳이 3개소뿐이며 나머지 299개소는 B등급 이상의 아주 양호한 상태임을 알 수 있다.

‘세부지침’에서 결합점수 배점에 의한 가중치가 높은 세굴, 배수공상태, 균열에 대해서 엔트로피 분석의 결과는 세굴을 제외하고 배수공상태, 균열 등이 각각 우선 순위 15위, 18위로서 다소 의외의 결과가 나타났다.

4.2 AHP 기법

전문가 집단의 설문조사를 통한 AHP 분석을 위해 21명의 전문가 집단으로부터의 설문조사를 회수했으며 통상적으로 설문결과의 일관성을 판단할 수 있는 일관성 비율(CR)이 20%이내인 것을 고려하여 17건의 설문결과를 분석하였고 집계된 설문을 토대로 AHP 분석한 결과는 Table 3과 같다.

‘세부지침’에서의 결합점수배점이 높은 세굴, 배수공상태, 균열이 비록 가중치 순위 4~6위안에 속해있어 전체적으로 큰 무리는 없어 보이나 활동, 전도, 침

Table 3. Results of AHP analysis for 18 evaluation items

Evaluation items	Weight	Order
Sliding	0.145	1
Overturning	0.122	2
Settlement	0.102	3
Scour	0.087	4
Crack	0.074	5
Drainage condition	0.061	6
Drain system	0.061	7
Breakage & Damage	0.056	8
Reinforcement Exposing	0.047	9
Leachate	0.037	10
Abrasion/Erosion	0.035	11
Slope gradient	0.033	12
Rockfall trace	0.029	13
Exfoliation & Delamination	0.026	14
Chloride	0.024	15
Carbonation	0.022	16
Peeling off	0.022	17
Efflorescence	0.019	18

하 등이 1~3위안에 속해있어 ‘세부지침’과는 다소 차이가 있는 것으로 보인다. 또한 활동, 전도, 침하 등은 용벽 검토에서 설계 및 준공검사 시 가장 일반적인 사항이지만 현장점검 상태평가 자료에서는 문제가 크게 없는 것으로 나타났다.

4.3 PROMETHEE 기법

PROMETHEE기법의 적용을 위해 현장평가 302개소에 대한 개별 가중치를 동일하게 1/302로 설정하였고 각 점검개소에 대해 선호지수와 대안별 순위선호체계를 통일하여 콘크리트 용벽의 안정성 확보에 따른 평가항목 중요도 순위를 결정하였다. 평가현장 개소별 선호함수는 일반적인 V형으로 설정하였고 선호임계치 설정은 각 평가항목의 최대값에서 최소값의 차를 적용하여 평가항목의 범위 내의 값으로 설정하였다. 선호방향이 +일 때 평가지표의 값이 커질수록 선호선향이 커짐을 의미하고, 선호방향이 -일 때 평가지표의 값이 작을수록 선호선향이 커짐을 의미한다. 즉, 평가항목 결합이 클수록 콘크리트 용벽 안정성 순위가 낮게 산정된다는 의미이다.

PROMETHEE 기법에서는 선호유출량, 선호유입량, 그리고 순흐름량을 계산함으로써 대안간의 상대적인 순위를 선정하게 된다. 여기서, 선호유출량은 다른 대안들을 선호 혹은 지배하는 정도를 나타내는 수치이고, 선호유입량은 선호유출량의 반대 개념으로 다른 대안

Table 4. Results of PROMETHEE analysis for 18 evaluation items

Evaluation items	Net flow	Order
Crack	14.12182	1
Drainage condition	12.45315	2
Breakage & Damage	2.317649	3
Drain system	2.166722	4
Efflorescence	-0.24464	5
Carbonation	-0.30079	6
Reinforcement exposing	-0.32871	7
Exfoliation & Delamination	-1.12573	8
Overturning	-1.94043	9
Peeling off	-2.28649	10
Abrasion/Erosion	-2.88722	11
Sliding	-2.93219	12
Slope gradient	-2.98076	13
Leachate	-3.10887	14
Chloride	-3.17563	15
Scour	-3.21444	16
Rockfall trace	-3.21533	17
Settlement	-3.31811	18

으로부터 선호, 지배되는 정도를 나타내는 수치이다. 본 연구에서 사용하는 순흐름량은 대안 a와 대안 b가 비교 불가능한 관계에 놓였을 경우에도, 이를 배제하여 평가항목별 콘크리트 용벽에 따른 위험도 순위를 나타낼 수 있도록 하였다. Table 4에는 선호유출량과 선호유입량의 차에 의한 선호흐름량을 18개의 평가항목별로 산정하여 순위대로 나열하였다.

Table 4의 결과에서 보듯이 배수공상태, 균열 등이 앞도적인 선호흐름량 차이로 이외의 16개 항목보다 위험한 항목으로 도출되었다. 또한 세굴의 경우에는 통계분석과 유사하게 순위가 뒤처지는 결과가 도출되었다.

5. 항목별 종합 가중치 산정

우선, 엔트로피 기법은 의사결정 문제에 있어 결정권자의 주관에 좌지우지되지 않고 단지 의사결정에 사용되는 데이터에 의해서만 가중치를 도출해내므로 객관적 방법이라고 할 수 있으며, AHP 기법은 복잡한 의사결정문제에서 주요한 인자를 각 계층별로 분류하고 쌍대비교행렬을 작성해 가중치를 도출해내는 방법으로 실제 인간의 사고체계와 흡사한 방식으로 문제를 구조화할 수 있다는 특징이 있다. 한편, PROMETHEE 방법은 각 점검 현장개소별로 항목별 평가된 점수 차

Table 5. Comprehensive result by guideline, entropy, AHP, and PROMETHEE analysis

Guideline Weight		Entropy Weight		AHP Weight		PROMETHEE Net Flow		Comprehensive result	
Evaluation items	Order	Evaluation items	Order	Evaluation items	Order	Evaluation items	Order	Evaluation items	Order
Scour	1	Scour	1	Sliding	1	Crack	1	Drainage condition	1
Drainage condition	2	Chloride	2	Overturning	2	Drainage condition	2	Breakage&Damage	2
Crack	3	Sliding	3	Settlement	3	Breakage&Damage	3	Crack	3
Settlement	4	Leachate	4	Scour	4	Drain system	4	Sliding	4
Sliding	4	Rockfall trace	5	Crack	5	Efflorescence	5	Scour	5
Overturning	4	Breakage&Damage	6	Drainage condition	6	Carbonation	6	Reinforcement exposing	6
Breakage&Damage	4	Carbonation	7	Drain system	7	Reinforcement exposing	7	Overturning	7
Exfoliation & Delamination	4	Efflorescence	8	Breakage&Damage	8	Exfoliation & Delamination	8	Exfoliation & Delamination	8
Carbonation	4	Settlement	9	Reinforcement exposing	9	Overturning	9	Drain system	9
Chloride	4	Overturning	10	Leachate	10	Peeling off	10	Settlement	10
Reinforcement exposing	4	Peeling off	11	Abrasion/Erosion	11	Abrasion/Erosion	11	Carbonation	11
Peeling off	12	Exfoliation & Delamination	12	Slope gradient	12	Sliding	12	Efflorescence	12
Abrasion/Erosion	13	Reinforcement exposing	13	Rockfall trace	13	Slope gradient	13	Chloride	13
Efflorescence	13	Abrasion/Erosion	14	Exfoliation & Delamination	14	Leachate	14	Leachate	14
Drain system	13	Drainage condition	15	Chloride	15	Chloride	15	Peeling off	15
Slope gradient	13	Slope gradient	16	Carbonation	16	Scour	16	Abrasion/Erosion	16
Rockfall trace	13	Drain system	17	Peeling off	17	Rockfall trace	17	Slope gradient	17
Leachate	13	Crack	18	Efflorescence	18	Settlement	18	Rockfall trace	18

이, 즉 선호흐름량을 근거로 우선순위를 정하는 방법으로 항목별 점수변화에 따른 위험도 순위를 정해낼 수 있는 특징이 있다.

각 분석방법마다 정책수립, 투자우선순위 결정, 사업관리, 리스크관리 등 다양한 분야에 적용되고 있는 이론으로, 각각의 방법으로 도출된 항목별 가중치를 비교하고 종합하여 취약요소 선정에 활용할 필요가 있다.

콘크리트 옹벽에 대해 세부지침 가중치, 엔트로피 가중치, AHP 가중치, PROMETHEE 선호흐름량 산정을 통해 평가항목별 순위를 Table 5와 같이 도출하였다. 각 분석방법별 알고리즘 차이로 인하여 평가순위에 다소 차이가 있는 것으로 판단된다. 예를 들어 엔트로피 기법의 경우 세부지침의 결합지수 배점이 높은 배수공상태, 균열 등은 전체 현장에 대해서 응집도가 낮은 분포점수를 형성하여 결국 엔트로피 가중치 값이 작게 산정되어 하위에 랭크되었고, PROMETHEE 기법에서의 세굴은 개소별로 상대적 점수 차가 크지 않아 선호흐름도가 작게 산정되어 하위에 랭크되는 특징을 보였다.

본 연구의 목적이 현재 옹벽의 상태 평가항목에 반

영되어 있지 않은 안전취약요소를 발굴하고 개선하는 것인 점을 감안하여 분석에 사용된 각방법별로 동등한 가중치를 설정하여 종합적 옹벽의 주요 성능평가 항목을 도출하였다. 즉, 세부지침, 엔트로피 기법, AHP 기법, PROMETHEE 기법의 총 4개의 분석방법에 따른 18개의 항목별 우선순위에 같은 가중치를 설정하여 최종 순위를 선정하였다. Table 5의 종합결론(Comprehensive result)에서 확인할 수 있듯이 세부지침에서의 가장 배점이 높은 세굴, 배수공상태, 균열이 모두 1~5위안에 포함되어 있었다. 또한 파손 및 손상, 활동, 철근노출, 전도(기울기/전도) 등도 종합결론의 2~7위안에 속하여 대체적으로 합리적인 결과라고 판단된다.

6. 결론

본 연구는 콘크리트 옹벽에 대해 현재 국내에서 적용하고 있는 ‘안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(옹벽)’의 18개 평가항목에 대한 우선순위를 결정하기 위해 총 302 현장개소에 대한 콘크리트 옹벽 점검결과를 바탕으로 엔트로피 기법, AHP 기법, PROMETHEE 기

법 등의 다양한 분석을 통해 항목별 상대적 가중치 산정을 통해 중요 성능평가 항목을 도출하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 엔트로피 기법에 의해 18개의 항목별 가중치 산정 결과 ‘세부지침’에서 결합점수 배점이 높은 세굴, 배수공상태, 균열에 대해서 엔트로피 분석 결과는 세굴을 제외하고 배수공상태, 균열 등이 각각 우선순위 15위, 18위로서 세부지침과 차이가 많이 났다.

- AHP 기법에 의한 18개의 항목별 가중치 산정결과 ‘세부지침’에서의 결합점수배점이 높은 세굴, 배수공상태, 균열이 가중치 순위 4~6위안에 속해있어 전체적으로 큰 무리는 없어 보이나 활동, 전도, 침하 등이 1~3위안에 속해있어 ‘세부지침’과의 점수배점과는 다소 차이가 있는 것으로 보인다.

- 세부지침, 엔트로피 기법, AHP 기법, PROMETHEE 기법 등 총 4개의 분석방법을 종합하여 18개의 항목별 우선순위를 선정하였고 세부지침에서의 배점 순으로 세굴, 배수공상태, 균열 등이 모두 1~5위안에 포함되어 있었다. 또한 파손 및 손상, 활동, 철근노출, 전도(기울기/전도) 등도 2~7위안에 속하여 대체적으로 합리적인 결과라고 판단된다.

또한 이번 분석을 통해 다음과 같은 연구한계점을 도출하였다.

- PROMETHEE 기법은 현장개소별로 점수차가 크지 않은 항목(세굴, 침하 등)에 대해 우선순위가 낮게 측정되는 적용 한계점을 지닌다.

- 전체적으로 유효한 결과 값을 도출하기 위해서는 항목별 결합지수에 따른 C, D, E 등급 변화가 이루어지는 데이터가 많이 확보되어야 한다.

감사의 글 : 본 연구는 국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업-사회기반시설(SOC)의 성능중심 관리, 운영을 위한 한국형 성능등급 산정기술 개발(15SCIP-CO79148-02)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

- 1) K. T. Park, H. S. Shin, J. H. Hwang, J. H. Park and Y. S. Kim, “Introduction to the State of the Art on the Development of Performance Based Maintenance Methodology in Korea,” Proceedings of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol 19, No. 1, pp. 641-632, 2015.
- 2) J. H. Seong, Y. S. Byun and T. K. Oh, “A Study on the Performance Based Evaluation Items of Concrete Retaining Wall Using Delphi Technique,” Proceedings of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol 19, No. 1, pp. 648-650, 2015.
- 3) Korea Infrastructure Safety Corporation, “Detailed Instructions Commentary of Safety Inspection and In-Depth Inspection(Retaining Walls)”, 2010.
- 4) C. E. Shannon and W. Weaver, “The mathematical theory of Communication,” The University of Illinois Press, Urbana, Illinois, USA, 1949.
- 5) T. L. Saaty and L. G. Vargas, “Decision Making with the Analytic Network Process,” International Series in Operations Research & Management Science, 2013.
- 6) J. P. Brans and P. Vincke, “Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision Making), Management Science, Vol. 31, No. 6, pp. 647-656, 1985.