

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.3.421>

JCCT 2024-5-49

의사결정지원시스템 AHP의 편의성 개선을 위한 하이브리드 모형의 개발

Development of AHP-MAUT Hybrid Model to Enhance Effectiveness of Decision Support System

배득중
Bae Deuk Jong

요약 계층화분석과정(analytic hierarchy process, AHP)은 쌍대비교를 이용하여, 사람들의 판단기준을 객관적인 수치로 변환해준다. 그런데 너무 많은 쌍대비교를 필요로 한다는 점이 문제이다. 본 연구의 목적은 표준 AHP보다 간편하면서도, 결과물은 유사하게 나오는 새로운 방식의 의사결정지원시스템을 만드는 것이다. 기존 연구들은 복잡한 쌍대비교 과정을 감소시키기 위하여 과정 분리(process separation) 방식을 가장 많이 사용하였다. 본 연구가 채택한 과정 분리 방법은 “분리와 혼합 방식”이다. 즉, 1)판단기준을 평가할 때는 정규 AHP 과정을 사용하고, 2)대안을 비교 평가 할 때는 다속성효용모형(multi-attributive utility technique, MAUT)을 적용한다. 이 Hybrid 모형의 과정 감축 효과를 이론적으로 도출하기 위하여 정보입력 횟수를 계산하는 산식을 만들었다. 그런 다음, 이 AHP-MAUT Hybrid 모형을 실제 분석 사례인 경기도 주민들이 분당-강남역 간 통근할 때 어떤 교통수단들을 선택하는지 분석하는 사례에 적용하였다. 그 결과 Hybrid 모형을 적용할 때 계산과정이 AHP 모형을 사용했을 때와 비교하여 42.03% 감소하였다. 그리고 Hybrid model을 적용한 주민들의 선택 결과와 표준 AHP를 이용한 주민들의 선택 결과를 서로 비교하였다. 혼동모형에서 도출한 두 모형 간의 선택 일치도(CA)는 82.1%로서, 상당한 정도로 일관성이 있다 할 수 있을 정도였다. 결론적으로 본 연구가 목적하는 바는 AHP보다 간단하고, 편리하면서도 동등하게 효과적인 의사결정 지원시스템을 개발하는 것인데, AHP-MAUT Hybrid 모형이 그 목적에 부합하였다. 이런 결과에 힘입어 Hybrid 모형의 적용사례가 증가한다면, 그것이 표준 AHP의 대안 중 하나로 고려될 수 있다는 점이 본 연구의 기여이다.

주요어 : 분석적 계층화 모형, 다속성효용모형, 하이브리드 모형, 과정 분리, 쌍대비교

Abstract The Analytic Hierarchy Process (AHP) converts people's judgment criteria into objective numerical values using pairwise comparisons. However, the need for an excessive number of pairwise comparisons poses a problem. To mitigate this issue, most existing studies have utilized the process separation approach. The method of process separation devised in this study is a "separation and integration approach," where 1) the standard AHP process is used for evaluating judgment criteria, and 2) the Multi-Attributive Utility Technique (MAUT) is applied for comparing alternatives. This AHP-MAUT Hybrid model was applied to a real analysis case, specifically analyzing the transportation choices of commuters between Bundang and Gangnam Station in Gyeonggi Province. The results showed that the computational process was reduced by 42.03% when applying the Hybrid model compared to using the AHP model alone. Furthermore, the choice results of residents using the Hybrid model were compared with those using the standard AHP. The consistency between the two models' choices was 82.1%, indicating a significant level of consistency. In conclusion, this study contributes by presenting a simpler, more convenient, yet equally effective Hybrid model as a new decision-support system alternative to AHP.

Key words : AHP, MAUT, Hybrid model, Process separation, Pairwise comparison

*정회원, 연세대학교 글로벌행정학과 교수
접수일: 2024년 3월 16일, 수정완료일: 2024년 4월 2일
게재확정일: 2024년 4월 30일

Received: March 16, 2024 / Revised: April 2, 2024

Accepted: April 30, 2024

*Corresponding Author: dbae@yonsei.ac.kr

Dept. of Global Public Administration, Yonsei University at Mirae Campus, Korea

I. 서 론

AHP는 가장 많이 사용되는 의사결정지원시스템이다. 1980년에서 2021년 사이에 SCOPUS 데이터베이스에서 총 35,430개의 분석에 사용되었다. AHP의 최대 장점은 쌍대 비교를 통해 주관적인 의견을 객관적인 수치로 변환하는 것이다. 그러나 이 프로세스는 상당한 양의 반복 작업을 포함하여, 결과적으로 AHP 참여자는 지루해지고, 대중 응답 하기 쉽다는 단점이 있다[1].

그동안 쌍대비교 횟수를 줄이기 위한 연구들이 많이 진행되었는데, 그들은 대부분 “과정 분리”(process separation) 방식을 사용하였다. 즉, 판단기준의 상대적 중요성과 대안의 상대적 중요성을 측정하는 과정을 각각 분리하면, 쌍대비교의 횟수가 줄어들어서, AHP를 더욱 편리하게 사용할 수 있다는 것이다.

본 연구 역시 그런 분리 접근법을 채택하는데, 기존 연구와 다른 점은 복잡한 AHP와 단순한 다속성효용기법(multi-attributive utility technique, MAUT)을 통합하여 새로운 변형을 개발한다는 점이다. 즉, “분리와 혼합” 방식인데, 이런 하이브리드 모델은 전통적인 AHP에서 요구되는 지루한 반복을 확실히 줄여준다.

그러나 과정을 단순화한 결과로 전통적인 AHP와 다른 선택을 권고하게 되면, 이것은 무용지물이 될 수 있다. 그래서 본 연구의 두 번째 과제는 AHP와 Hybrid 모형이 각각 생산해내는 결과물을 서로 비교하는 것이다. 이 작업은 기존 연구에서 간과되어온 것인데, 만일 AHP와 Hybrid 모형의 최종결과물이 유의미하게 차이가 나지 않는다면, Hybrid 모형이 AHP보다 더 편리한 접근법이 될 수 있다.

II. AHP의 과정 분리에 관한

기존 연구의 재검토

가장 간단한 형태의 AHP가 요구하는 쌍대비교 횟수는 $n(n-1)/2$ 이다. 여기서 n 은 클러스터 내 요소(element)의 개수이다. 그러나 AHP는 보통 판단기준들을 여러 개의 계층으로 구성한다. 대안들 역시 계층구조를 가질 수 있다. 각 계층은 또 여러 개의 클러스터로 구성되는데, 이렇게 되면 쌍대 비교 횟수가 급증하게 된다.

예를 들어, 판단기준이 세 개의 층으로 구성되어 있고, 각 층에 세 개의 기준이 있다고 가정하자. 그런 한편, 다섯 개의 대안이 하나의 층으로 구성되어 있다면 필요한 쌍대비교 횟수는 총 117회가 된다. 이렇게 되면 참가자가 이렇게 많은 쌍대비교를 집중력을 갖고 수행하기가 어렵다. 나중에는 대중 응답하게 되어, 쌍대비교를 도입한 취지가 무색해진다. 이 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 연구들이 있었다.

Adams와 Rokou는 “Simple-AHP”라는 방법을 개발하였다. 전통적인 AHP는 쌍대 비교를 하기 위해 “1-9 점 척도”를 사용하는데, 이것은 평균적인 설문 참가자에게는 어렵다. 그래서 “1-9점 양방향 척도” 대신에, 일반적으로 많이 사용되는 “1-5점 단방향 Likert 척도”를 사용하자고 한다. 이 접근 방식은 설문 참가자에게 친숙한 방법을 제공함으로써, AHP 설문 조사의 복잡성을 줄이기는 한다. 그러나 쌍대 비교의 횟수를 줄이지 않기 때문에, 지루한 쌍대 비교의 반복을 근본적으로 해결하지 않는다[2].

Ishizaka, Pearman 및 Nemery는 “AHP-Sort”라는 방법을 제안하였다. 이 방법은 판단기준을 여러 그룹으로 묶어서 쌍대 비교 횟수를 줄인다. 예를 들어, 7개의 대안이 있는 경우, 한 기준에 대해 쌍대비교를 수행하면 $7(7-1)/2$ 로 계산된 21개의 비교 결과가 나온다. 그러나 7개의 대안을 각각 3개, 3개, 2개의 대안으로 묶어 3개의 클러스터로 그룹화하면, 쌍대비교 횟수가 21개에서 10개($=3+3+3+1$)로 줄어든다[3].

Ishizaka와 Lopez는 Cost-Benefit AHP를 고안하였다. 이것은 판단기준을 비용 항목과 편의 항목으로 구분하여 쌍대 비교를 수행하는 방법이다. 이 방법 역시 과정 분리를 통해 쌍대 비교의 횟수를 줄인다[4].

Leal은 이러한 분리의 개념을 더욱 발전시켰다. 그는 판단기준을 평가하는 과정과 대안을 평가하는 과정을 분리하는 방법을 제안하고, 이것을 AHP-Express라고 명명하였다. 그는 판단기준들을 평가할 때는 정규 AHP 과정을 따르지만, 대안을 평가할 때는 쌍대비교를 사용하지 않고, 대안에 대한 순위를 부여하는 것으로 갈음하자고 한다. 그렇게 하면 쌍대비교 횟수를 $n(n-1)/2$ 에서 $(n-1)$ 로 줄일 수 있다고 하였다[5].

본 연구는 Leal의 “과정 분리(process separation)”의 구상을 채택하되, 순위 부여 대신 MAUT를 사용하여 더욱 정교하게 구체화하고자 한다. Toepfer는 AHP와

MAUT를 혼합하여 하이브리드 모형을 만들 수 있다고 보았다[6].

III. 하이브리드 모형의 논리적 기초

1. MAUT의 필요 정보

MAUT는 다양한 대안을 여러 판단기준으로 평가하여 가장 총점(weighted total score)을 비교하여 우선순위를 정한다. 이 방법은 실행이 간단하다는 장점이 있는 의사결정 프레임워크이다.

MAUT를 실행하기 위해서는 의사결정자가 판단기준의 숫자만큼 자신의 평가를 입력해야 한다. 그런 다음 대안들을 일일이 판단기준별로 다시 평가해야 한다. 예를 들어, 9개의 기준에 따라 5개의 대안을 평가한다면, 의사결정자는 54개(=9×9×5 또는 9(1+5))의 응답을 제공해야 한다. 이런 정보입력 횟수를 수식화하면 다음 식(1)과 같다.

$$C \times (1+A) \quad \text{식(1)}$$

식(1)에서 C는 판단기준의 수, A는 대안의 수이다.

MAUT는 보통 스프레드 시트 애플리케이션으로 계산하는데, 대안별로 가중치가 부여된 종합 평점을 생성한다. 그러면 의사 결정자는 평점에 따라 대안들의 우선순위를 결정하고, 추가로 민감도분석(sensitivity analysis)을 실시한다.

2. AHP의 필요 정보

AHP를 실행하는데 필요한 쌍대 비교의 수는 계층 구조의 각 단계 내에서 비교되는 요소(element)의 수에 따라 달라진다.

AHP는 판단기준과 대안들이 계층 구조를 이루기 때문에 4단계의 복잡한 계산과정이 요구된다.

1단계: 모든 계층의 기준에 대한 쌍대 비교 횟수는 식 (2-1)에 의해서 계산된다.

$$\sum[C_{ij} \times (C_{ij}-1)/2] \quad \text{식(2-1)}$$

일반적으로 쌍대비교 횟수는 n(n-1)/2에 의해서 도출되는데, 이 일반식을 구체화한 것이 식 (2-1)이다. 식 (2-1)에서 Cij는 i계층의 j번째 클러스터에 있는 판단기준들의 가짓수이다.

2단계: 모든 계층의 대안에 대한 쌍대 비교 횟수는 식 (2-2)와 같다. 기본 구조는 식 (2-1)과 같다.

$$\sum[Amn \times (Amn-1)/2] \quad \text{식(2-2)}$$

식 (2-2)에서 Amn은 m번째 계층의 n번째 클러스터의 대안의 가짓수다.

3단계: 각각의 대안들에 대하여 판단기준마다 쌍대 비교를 한다. 필요한 쌍대비교의 수는 식 (2-3)이다.

$$C \times A(A-1)/2 \quad \text{식(2-3)}$$

식 (2-3)에서 C는 판단기준의 수, A는 대안 수이다.

4단계: 위의 1단계에서부터 3단계의 산식들을 합산하면 식 (2-4)와 같아진다.

$$\sum[C_{ij} \times (C_{ij}-1)/2] + \sum[Amn \times (Amn-1)/2] + [C \times A(A-1)/2] \quad \text{식(2-4)}$$

3. Hybrid 모형의 필요 정보

본 연구의 하이브리드 모형은 MAUT와 AHP의 장점을 모두 융합하는 모형이다. 그 핵심 요소는 판단기준 평가와 대안의 평가를 분리하는 것이다.

판단기준의 평가에 있어서는, 이것이 평가자의 주관에 크게 영향을 받기 때문에 AHP 방법을 통해 정밀하게 객관화할 필요가 있다. 그렇지만, 대안들의 상대적 중요도를 평가할 때는 간단한 MAUT를 사용해도 무방한 경우가 많다. 대안들은 객관적인 요소들을 포함하는 것이 일반적이기 때문에, 즉, 알려진 사항이 많다. 따라서 그것들의 비교는 MAUT로 간단히 처리할 수 있다.

이처럼 AHP와 MAUT를 분리해서 적용하면, 즉, 판단기준 평가과정과 대안 평가과정을 분리하면, 계산과정이 AHP의 그것보다 훨씬 더 간소해지고, 편리해진다. 즉, 의사결정지원시스템의 편의성이 개선된다. 그 산식은 식 (3)과 같다.

$$\sum[C_{ij} \times (C_{ij}-1)/2] + [C \times (1+A)] \quad \text{식(3)}$$

식 (3)의 앞부분은 AHP의 식 (2-1)과 같으며, 뒷부분은 식 MAUT의 식 (1)과 동일하다.

IV. 사례 분석

1. 사례의 개요

이상의 논리적 구성은 사례 연구를 통해 실증되어야 한다. Islam은 분당 지역에서 강남 지하철역까지 출퇴근 수단을 선택하는 사례를 분석하였다[7].

다음 그림 1은 출퇴근 통행수단의 선택에 적용되는 AHP 구조인데, 비용 요소와 품질 요소를 구분하고 있다. 품질 요소는 다시 시간, 편의성, 안전으로 한 계층

을 이루고, 시간 요소는 다음 계층에서 소요시간 및 정시성으로 구성된다. 마찬가지로 편의성의 하위계층은 접근성, 혼잡도, 청결도로 구성된다.

이 모델에서 대안은 버스, 지하철 분당선, 지하철 신분당선, 그리고 자동차를 자가운전 하는 네 가지이다.

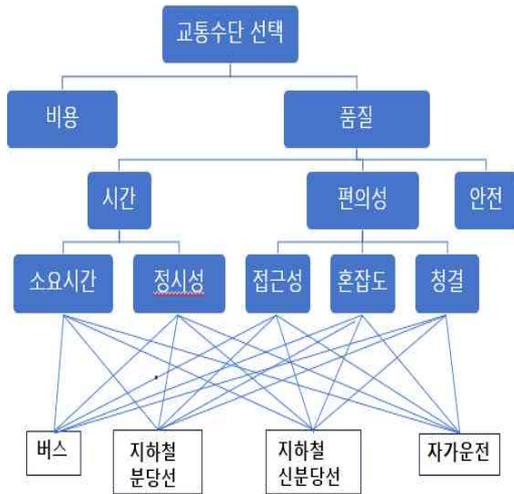


그림 1. 출퇴근 교통수단 선택 AHP 모형
Figure 1. AHP model for selecting transportation mode

2. AHP 실행 결과

본 연구에서는 "Expert Choice 2000®"라는 애플리케이션을 사용하여 AHP를 수행하였다. 한 참가자가 이 사례의 AHP 모형을 실행하기 위해서는 총 69개의 정보를 입력하여야 한다. 하나라도 입력이 안 되면, 전체 모형을 계산할 수 없게 된다.

판단기준의 첫 번째 계층의 경우, 한 개의 입력만 필요하다. 두 번째 계층의 경우 3개의 입력이 필요하다. 그러나 세 번째 계층의 경우 클러스터마다 포함된 요소의 수에 따라 정보입력의 횟수가 달라진다. 이 경우 판단기준에 대한 쌍대 비교는 총 9개이다.

버스, 지하철 분당선, 지하철 신분당선, 자율주행 등 4가지 대안들에 대해서는 6개(=4(4-1)/2)의 쌍대 비교가 필요하다. 따라서 이 AHP 모델은 총 69(=9+6x10)만큼의 정보가 입력되어야 한다. 이런 복잡한 과정을 다 거치고 나서야 비로소 각 대안별로 종합 점수가 산출된다.

그 결과는 다음 그림 2에 제시되어 있는데, 분당 지역에서 강남역으로 출퇴근할 때 신분당선이 가장 선호

된다. 다음으로 지하철 분당선과 버스가 선호되었다. 자가 운전은 가장 덜 선호되는 교통수단이다.

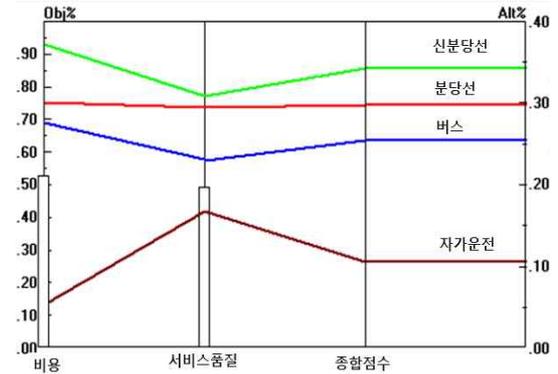


그림 2. AHP를 이용한 교통수단의 선택
Figure 2. Selection of transportation mode by AHP

3. MAUT와 Hybrid의 실행 결과

MAUT 모델은 4개의 대안과 10개의 기준이 있으므로 이것을 실행하기 위해서는 총 50개(=10x(1+4))의 정보를 입력하여야 한다.

동일한 모형을 하이브리드 방식으로 계산하게 되면, 총 40개의 정보만 입력하면 이 모형을 실행할 수 있다. 즉, 판단기준에 대한 쌍대비교는 총 8개가 필요하고, 이들 각각에 대하여 4개의 대안을 비교 평가하기 위해서는 32개의 정보 입력이 필요하다.(=8x4) 이 두 개를 합산하여 총 40개의 정보를 입력하면, 하이브리드 모형이 실행된다.

표 1에서 보여지는 바와 같이, 출퇴근 교통 모드 선택을 위한 사례 연구에 대한 3개의 모형이 필요로 하는 정보입력 횟수는 AHP가 69개, MAUT가 50개, 그리고 Hybrid가 40개이다. Hybrid 방식을 사용하면, AHP에 비하여 29개의 입력 과정이 줄어들고, MAUT에 비해서는 10개의 과정이 줄어든다. 이렇게 감소된 과정을 비율로 나타내면, 각각 42.08%와 25.0%이다.

표 1. 모형별 필수 입력 가짓수
Table 1. Counts of required inputs by models

모형	필수 입력 가짓수
AHP	69
MAUT	50
AHP-MAUT Hybrid	40

이 결과는 앞의 기존 연구에서 AHP-Express를 제안하였던 Leal의 주장과 일치하며, 본 연구를 그 결과를 구체적인 수치로 실증하였다.

V. 일관성 테스트

하이브리드 모델의 중요한 장점은 AHP에 내재된 복잡성을 완화한다는 것이다. 그러나 AHP의 엄격한 정밀도를 완화함으로써 달성한 단순화로 인하여, 의사결정 지원시스템이 추천하는 선택이 전혀 다른 선택이 될 우려가 있다. 이런 우려를 불식시키기 위해서는, 단순화의 단점이 실질적인 차이를 유발하는지 아니면 사소한 정도의 차이인지를 확인하는 것이 중요하다[8].

본 연구는 2023년 10월 분당 지역 주민 78명을 대상으로 통근수단 선택에 대한 설문 조사를 수행했다. 참가자들은 AHP 모델과 하이브리드 모델을 기반으로 교통 옵션을 선택하도록 설문받았다. 이들의 응답에 기초하여 AHP와 Hybrid 모형이 각각 계산되었는데, 그 결과는 다음 표 2에서 보는 바와 같이 혼동행렬(confusion matrix)로 정리하였다[9].

혼동행렬은 머신 러닝(machine learning)에서 모형의 적합도와 예측 정확성을 판별하는데 중요한 도구이다[10].

혼동행렬에서 도출한 CA(classification accuracy, 분류 정확도) 값은 0.821이다. 이것은 두 모형이 생산해내는 결과물이 양호한 정도로 일관성이 있음을 의미한다. 물론 AHP와 Hybrid 모형을 사용한 선택 간에 약 18% 정도의 차이는 있지만, 그 정도의 차이는 두 모델 간의 선택에 일관성이 없다고 할 수 있는 정도는 아니라고 해석된다. 이와 유사한 결과는 De Feritas도 보고하고 있다[11].

표 2. AHP와 hybrid의 결과 일치도 혼동행렬
 Table 2. Confusion matrix and consistency of results from AHP and hybrid Model

		AHP의 선택				
		버스	분당선	신분당선	자가운전	합계
하이브리드 모형의 선택	버스	11	0	1	1	13
	분당선	2	16	3	1	22
	신분당선	0	3	21	2	26
	자가운전	1	0	0	16	17
	합계	14	19	25	20	78

VI. 결론

본 연구는 AHP가 내재적으로 가지고 있는 문제, 즉 쌍대 비교를 너무 많이 요구한다는 문제를 해결하는데 기존의 연구들과 같이 “과정 분리” 방식을 채택하고 있다. 그러나 본 연구는 AHP-MAUT Hybrid 모형을 개발함으로써, 과정 분리를 훨씬 더 과학적인 방법으로 구성하였다.

기존 연구에서 살펴보았듯이, Simple-AHP가 설문 9점 척도에서 5점 척도로 바꾸었다든지, AHP-Sort가 계층 구조를 다층화한다든지, AHP-Express가 대안 비교를 서열로 하자는 등의 접근 방식은 임시적 방편(ad hoc)이다. 이에 비하여 본 연구는 AHP만큼 많이 사용되는 의사결정지원시스템인 MAUT를 AHP에 접합시켰다. 즉, 기존의 단순한 과정 분리 방식이 아니라, 본 연구에는 “분리-혼합 접근법”을 개발하여 제시한다.

이뿐 아니라 본 연구는 다음과 같이 새로운 시도와 분석 내용을 포함하고 있다.

첫째, 기존 AHP와 달리 지루하게 반복되는 쌍대 비교의 숫자를 크게 줄일 수 있다. 이것은 참여자들의 응답 편의성을 개선하여서, 결과적으로 자신들의 선호도를 집중력을 가지고 정확하게 표현할 수 있게 해 준다. 그 결과 의사결정지원시스템의 본래의 목적인 정확한 컨설팅이 가능하게 한다.

둘째, 모형 수행에 필요한 정보입력 횟수를 계산식으로 공식화하였다.

셋째, 본 연구에서는 정보입력 횟수의 감소를 실제 사례, 즉 분당-강남역 간 통근 수단 선택 모형으로 수치화하였다. 물론 정보입력 횟수 계산식이 있으면, 논리적으로 과정 감축 정도를 도출해낼 수 있다. 하지만 실사 수치를 보면, 과정 감축의 정도가 더 쉽게 이해된다.

넷째, 본 연구는 표준 AHP로 도출한 선택 결과와 Hybrid 모형으로 도출한 선택 결과가 얼마나 일치하는지 실증하였다. 기존의 AHP 개선 방안들은 새로운 방안의 장단점 비교에 중점을 두었는데, 본 연구는 표준 AHP와 대안적 모형 간의 일관성을 실증하였다는 점에서 의의가 있다. 본 연구에서 발견한 사항은, 엄격한 AHP를 사용한 선택과 관련한 Hybrid 모델을 사용한 선택 간에 차이가 크지 않다는 사실을 입증한다.

이상의 발견 및 결론들을 요약하자면, 본 연구의 원래 목적은 “간편하면서도 표준 AHP와 별 차이 없는 결

과물을 생산하는 대안”을 찾아내는 것이었는데, AHP-MAUT Hybrid 모형이 그 목적에 부합한다는 점이다. 향후 Hybrid 모형의 적용사례가 늘어날수록 이 모형이 표준 AHP의 대안으로 기여할 수 있을 것이다.

References

- [1] Madzik, P. and Falat, L. “State-of-the-art on analytic hierarchy process in the last 40 years: Literature review based on Latent Dirichlet Allocation topic modelling,” *PLoS One*, 17(5): e0268777. 2022.
- [2] Adams, W. and Rokou, E. “Why Simple AHP?” *International Journal of the Analytic Hierarchical Process*. 382-384. 2016.
- [3] Ishizaka, A., Pearman, C., and Nemery, P. “AHPSort: an AHP based method for sorting probleme,” *International Journal of Production Research*, 50(17), 4767-4784. 2012.
- [4] Ishizaka, A., and López, C. 2019. “Cost-benefit AHPSort for performance analysis of offshore providers,” *International Journal of Production Research*, 57, 4261 - 4277.
- [5] Leal, J. E. “AHP-express: A Simplified Version of the Analytical Hierarchy Process Method,” *Method X*, 18. 2020.
- [6] Toepfer, J. R. “A Comparison of Multi-Attribute Utility Theory, the Analytic Hierarchy Process, The Analytic Network Process, and New Hybrid Approach for a Case Study Involving Radon,” *Doctoral Dissertation*, Old Dominion University. 2008.
- [7] Islam, S. “A User-Side Analysis of the Public Private Partnership: The Case of the New Bundang Subway Line in Korea,” *Doctoral Dissertation*, Yonsei University. 2015.
- [8] Dodevska, Z., Radovanovic, S., Petrovici, A., and Delivasic, B., “When Fairness Meets Consistency in AHP Pairwise Comparisons,” *Mathematics*, 604. 2023.
- [9] Im, S. “An Extended Function Point Model for Estimating the Implementing Cost of Machine Learning Applications,” *The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)* Vol. 9, No. 2, pp.475-481, March 31, 2023. <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.2.475>
- [10] Jeong, S.A. and Kang, K.H. “Nonparametric Estimation of Univariate Binary Regression Function,” *International Journal of Advanced Culture Technology* Vol.10 No.1 236-241. 2022. DOI :<https://doi.org/10.17703/IJACT.2022.10.1.236>.
- [11] De Freitas, L. V. “Decision-Making with Multiple Criteria Using AHP and MAUT: An Industrial Application,” *European International Journal of Science and Technology*, 2(9), 93-100. 2013. 11.