

다속성효용이론을 이용한 해체 시나리오 평가 방법론 연구

김성균, 박희성, 이근우, 정종현
 한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
 sungkyun@kaeri.re.kr

다속성효용이론(MAUT)은 여러 속성의 가치로부터 전체적인 의사결정이 가능하도록 해주는 것으로 사람들이 느끼는 가치에 숫자를 적절하게 부여하고 이에 대한 조건들을 공리적으로 정의한 것이다. 다속성효용이론은 반복질문을 통하여 의사결정자의 효용함수를 산출하고 이에 근거하여 대안을 평가하는 방법으로 정량적인 자료뿐만 아니라 정성적인 요인들도 종합적으로 고려할 수 있다는 점에서 매우 유용하다.

본 연구에서는 해체 시나리오 평가를 위해 9개의 속성을 고려하였다. 고려한 속성은 다음과 같다: 준비비용, 주변비용, 폐기물처리비용, 작업자 피폭, 작업자 안전성, 작업 난이도, 기술의 독창성, 기술의 파급효과, 대국민 홍보, 대국민 이해도. 각 속성의 가중치는 AHP 방법을 이용하여 도출하였고 효용함수는 평가자에게 다양한 질문을 통해 산출된 결과를 기반으로 도출하였다. 그리고 MAUT의 적용성을 파악하기 위해 연구로 1호기 Thermal column을 대상으로 플라즈마 절단 시나리오와 Nibbler 절단 시나리오를 비교하여 평가하였다.

- 단일 효용함수 도출

단일속성 효용함수를 도출하기 위해 의사결정자들의 확실등가를 측정하는 방식으로 설문을 실시하였으며 개인별 효용함수는 기하평균으로 합성하였다. 분석결과 해체주변비용, 해체비용, 폐기물처리비용, 작업자 피폭, 작업난이도 등에서는 위험회피성향이 우세하게 나타났다. 반면에 기술의 독창성, 대국민 홍보와 대국민 이해도 측면에서는 위험선호형이 나타났다. 표 1은 효용함수 구성을 위한 선형 연립방정식의 해를 계산한 결과를 나타내고 있다.

- 다속성함수 구성

다속성함수는 해체 시나리오 평가 항목인 해체비용, 작업 안전성, 해체기술성, 사회적 수용성 등 4가지의 평가요소로 구성되어 있다. 따라서 전체 다속성함수는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$U(x_1, x_2, x_3, x_4) = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2) + k_3 u_3(x_3) + k_4 u_4(x_4) \dots\dots\dots(1)$$

여기서 $\sum_{i=1}^4 k_i = 1$ 이며 다속성함수값을 구하기 위한 가중치이다. 가중치를 구하는 방법은 일반적으로 가장 선호되는 속성에 100의 점수를 주고 내림차순으로 점수를 매기는 스윙기법(swing weighting)을 이용하여 상대적 가중치를 결정하나 본 논문에서는 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process)법을 이용하여 각 속성의 가중치를 산출하였다. 가중치 산출 결과는 표 2와 같다.

- 해체 시나리오 평가

Thermal column의 해체 시나리오에 대해 MAUT 방법으로 평가하기 위해 표 1의 수식에 시나리오별 입력자료를 대입하여 단속성 효용값을 산출하였다. 산출된 단속성 효용값과 표 2에서 산출한 가중치를 식 1에 대입하면 각 대안에 대해 0에서 1사이의 정량화된 총 효용을 얻을 수 있으며, 이에 따라 해체 시나리오별 우선순위를 결정하였다. 표 3은 두 시나리오에 대한 세부 속성별 단일효용값과 전체 다속성효용값의 결과를 나타내고 있다. 이 결과에 따라 두 시나리오의 순위를 결정하였다. 각 항목별로 보면 두 시나리오에 따라 비슷한 경향을 보였지만 해체기술성 항목에서 플라즈마 시나리오가 Nibbler 시나리오에 비해 더 높은 점수를 얻어 전체적으로 우선순위가 높게 나왔다.

표 1. 단일속성 효용함수 분석결과

속성	함수	단위	위험 태도	증감
해체주변 비용	$y=1.02686-0.03313e^{0.00684x}$	백만원	기피	감소
해체작업 비용	$y=1.01501-0.01108e^{0.01128x}$	백만원	기피	감소
폐기물 처리 비용	$y=1.09799-0.09569e^{0.01217x}$	백만원	기피	감소
작업자 피폭	$y=1.00228-0.01241e^{0.08814x}$	mSv	기피	감소
작업 난이도	$y=1.13865-0.13884e^{0.02052x}$	%	기피	감소
기술의 독창성	$y=-0.12258+0.15418e^{0.01955x}$	%	선호	증가
기술의 파급 효과	$y=0.02727+0.01009x$	%	중립	증가
대국민 홍보	$y=-0.55621+0.5876e^{0.00931x}$	%	선호	증가
대국민 이해도	$y=-0.3128+0.35083e^{0.01238x}$	%	선호	증가

표 2. 각 속성별 가중치 산출 결과

Criteria		Sub-criteria	
항목	가중치	세부항목	가중치
비용	0.2410	주변비용	0.199
		해체비용	0.336
		폐기물처리 비용	0.465
		계	1.000
작업 안전성	0.4162	작업자 피폭	0.642
		작업 난이도	0.358
		계	1.000
해체기술성	0.1599	기술의 독창성	0.326
		기술의 파급효과	0.674
		계	1.000
		사회적수용성	0.1829
대국민 이해도	0.586		
계	1.000		
계		1.0000	

표 3 각 시나리오의 우선순위

Criteria	Sub-criteria		단일효용함수값		다속성효용값	
	세부항목	가중치	Scenario 1 (Plasma)	Scenario 2 (Nibbler)	Scenario 1 (Plasma)	Scenario 2 (Nibbler)
비용 (0.2410)	주변비용	0.199	0.9913	0.9905	0.2312	0.2317
	해체비용	0.336	0.9464	0.9681		
	폐기물처리 비용	0.465	0.9550	0.9442		
	단일효용값		0.9593	0.9614		
안전성 (0.4162)	작업자 피폭	0.642	0.9885	0.9892	0.3764	0.3866
	작업 난이도	0.358	0.7537	0.8212		
	단일효용값		0.9044	0.9290		
해체기술성 (0.1599)	기술의 독창성	0.326	0.2896	0.2327	0.0749	0.0594
	기술의 파급효과	0.674	0.5550	0.4389		
	단일효용값		0.4684	0.3717		
사회적수용성 (0.1829)	대국민 홍보	0.414	0.3823	0.3422	0.0596	0.0638
	대국민 이해도	0.586	0.2861	0.3534		
	단일효용값		0.3259	0.3488		
총 계					0.7421	0.7416
Rank					1	2

- 결론 및 향후 계획

본 연구는 그동안 해체시나리오 평가에 있어서 다분히 주관적인 평가를 통해 수행되어온 해체 시나리오 선정 작업을 합리적인 의사결정 방법을 통하여 신뢰성 있는 시나리오를 제시하였고, 의사결정에 있어서 고려해야 할 정성적인 요소들을 정량화시켜 의사결정자가 비교적 쉽게 비교·판단할 수 있는 시스템을 개발했다는 점에서 그 의미가 크다고 생각한다. 이번 연구는 2006년 후반기에 시작될 연구로 1호기 해체사업과 향후 원자력 시설의 해체 엔지니어링 측면에서 많은 기여를 할 것으로 기대한다.