

사용후핵연료 처리 기술의 종합 평가: 해석적 계층과정(AHP) 기법 활용

Seong Ho KIM, 박원재*

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045 (덕진동 150번지)

*한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 구성동 19번지

well48@hanmir.com

서론

이 연구의 주된 목적은 가압경수형 원자로(Pressurized Water Reactor, PWR)에서 발생하는 사용후핵연료(SF)를 다각적인 측면에서 처리하는 기술들의 선호도를 정량적으로 평가하기 위해 해석적 계층과정(AHP) 기법-기반 의사결정 방법론을 적용하려는 것이다.

여기서는 우리나라에 적용 가능한 네 가지 사용후핵연료 처리 기술이 선정되었다[1]: 1) 직접처분; 2) DUPIC(경수로의 사용후핵연료를 중수로의 핵연료로 재사용, Direct Use of Spent PWR Fuel in CANDU Reactor) 기술; 3) 열중성자로 재활용; 4) SFR(소듐 냉각 고속원자로, Sodium Fast Reactor)와 연계된 GEN IV(제 4세대 원자력 시스템, Generation IV Nuclear Energy System) 기술. Table 1에는 이러한 각 기술의 정성적 특성이 정리되어 있다. Fig.1에는 기존 연구[1]에서 고려된 평가기준 및 하부 평가기준이 계층 구조에 나타나고 있다.

Table 1: 사용후핵연료 처리 기술의 특성

대안기술	특성	
직접처분	PWR 사용후핵연료를 중간 저장한 후 재활용하지 않고 영구 처분하는 기술	
	장점	비교적 낮은 핵물질 확산 위험도
	단점	재활용하지 않아 유한한 핵연료 자원(예: 천연우라늄)의 고갈 위험도
DUPIC	PWR 사용후핵연료를 DUPIC 핵연료로 가공한 다음, CANDU에 재이용하고, DUPIC 사용후핵연료를 영구 처분하는 기술	
	장점	비교적 높은 핵확산저항성
	단점	재처리를 거치지 않아 높은 방사성 물질의 취급 위험도
열중성자로 재활용	PWR 사용후핵연료를 PUREX로 처리한 후 분리된 플루토늄을 MOX 핵연료로 가공하여 PWR에 재이용하고, MOX 사용후 핵연료를 영구 처분하는 기술	
	장점	핵연료의 재활용에 따른 비교적 높은 자원 보존성
	단점	재활용 단계에서 발생한 플루토늄으로 인해 높은 핵확산 위험도
GEN-IV	PWR 사용후핵연료를 고온전해분리(pyroprocessing)를 통해 금속핵연료를 만들어 SFR(고속로)에 재이용하여 고-독성 핵종을 소멸시키는 기술	
	장점	플루토늄의 재활용을 통한 낮은 방사성 폐기물 양
	단점	상대적으로 낮은 기술성

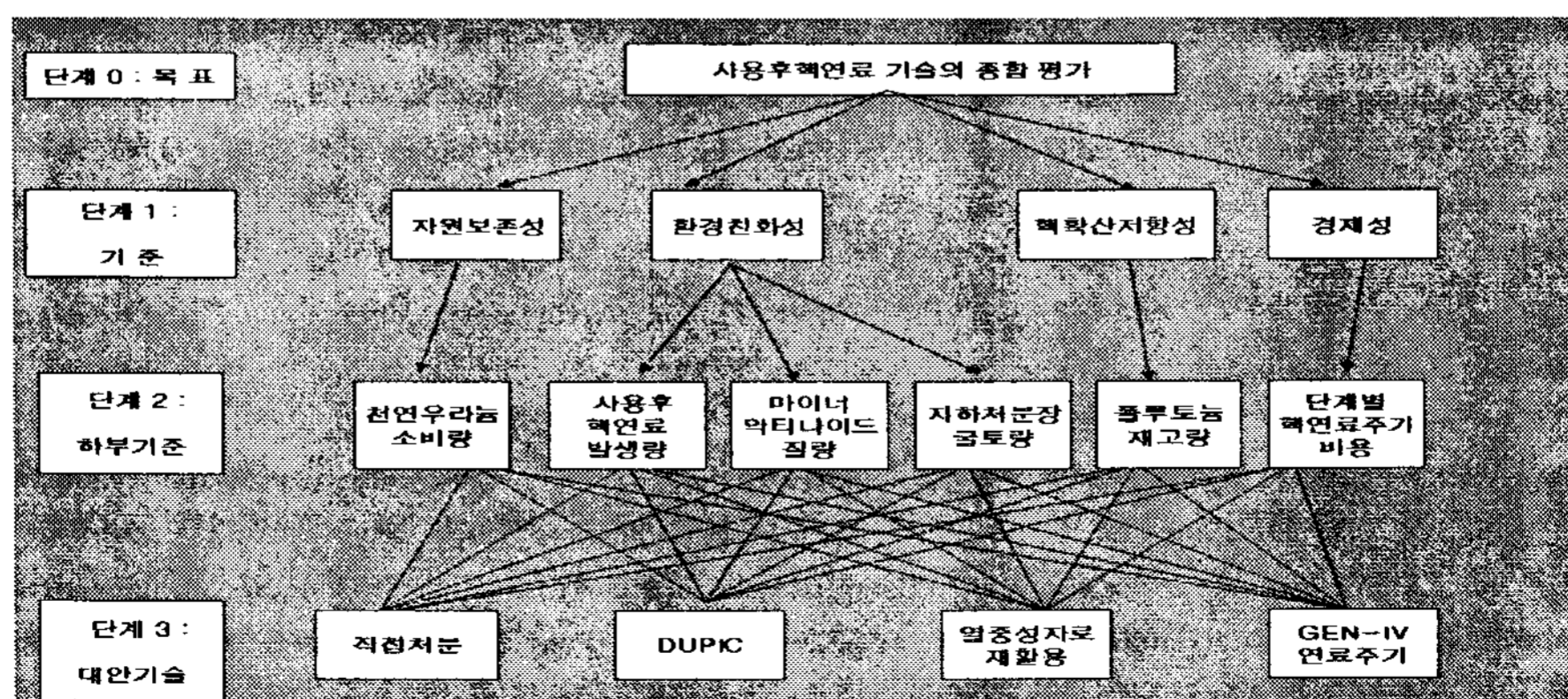


Fig. 1: 사용후핵연료 기술의 계층 구조

해석적 계층과정 기법

여기서 적용된 AHP 기법은 다음과 같은 4-단계의 절차[2]에 따라 구현된다. (1) 단계 1 : 문제의 구조화 단계, (2) 단계 2 : 중요도 측정의 단계, (3) 단계 3 : 가중치와 평가치 설정 단계, (4) 단계 4 : 대안 우선순위의 결정 단계.

각 기술의 평가치를 무차원에서 비교하기 위해 문헌[1]에서 얻어진 자원보존성, 환경친화성, 핵확산저항성, 경제성 측면에서의 평가치가 각각 정규화된다. 이렇게 얻어진 수치는 정규화 평가치라고 불린다. 다양한 단위를 가지고 있는 평가치는 정규화를 통해 서로 비교될 수 있으며, 합을 1로 만들어 정규화 수치가 높을수록 선호도가 높은 것으로 볼 수 있다. 여기서는, 평가 기준인 천연우라늄 소비량, 사용후핵연료 발생량, 마이너 악티나이드 질량, 지하 처분장 굴토량, 플루토늄 재고량, 핵연료주기 비용 등은 수치(x_i)가 낮을수록 선호도가 높은 것으로 볼 수 있다. 이 때문에 역변환 평가치에 해당하므로 역변환 정규화[2]가 사용되었다. 이러한 역변환 정규화 경우에는, 정규화 평가치(N_i)는 식 (1)에 따라 구해진다. 이러한 정규화 이후에는, 모든 세부기준에 대한 정규화 평가치는 수치가 클수록 선호도가 높다는 것을 의미한다.

$$N_i = \frac{1/x_i}{\sum_i 1/x_i} \quad (1)$$

대안기술의 종합 점수는 6가지 하부 평가기준의 가중치와 정규화 평가치의 결합과정을 통해 매겨진다. 이 점수에 따라 각 대안의 우선순위가 매겨지거나, 의사결정의 최우선 대안이 결정된다. 결합과정에서는 각 대안기술 k에 대한 정규화 평가치(N_{ik})와 기준 i에 대한 가중치(W_i)에서부터 가중 산술평균을 통해 종합 점수(Overall Score; OS_k)가 식 (2)에 따라 얻어진다.

$$OS_k = \sum_{i=1}^6 W_i N_{ik} \quad (2)$$

사용후핵연료 처리 기술의 종합 평가

종합 점수에 따른 대안기술의 우선순위가 구해졌다. Table 2에 보이는 바와 같이, Case 1에서는 2명의 전문가로부터 추출된 가중치. Case 2에서는 다속성 효용함수 기법-기반[3] 기준 연구[1]에 주어진 상대적인 기준 가중치 및 각 기준의 하부기준 가중치는 동일하다는 가정이, Case 3에서는 기준별 가중치 및 각 기준별 하부기준 가중치도 동일하다는 가정이 사용됐다. Table 2에는 각 사례에 사용된 가중치로 구해진 각 대안기술의 종합 선호도 점수 및 우선순위가 정리되어 있다. 그 결과, GEN-IV 기술이 가장 선호적인 기술로 나타났다.

Table 2: 기준 가중치 및 대안기술의 종합 선호도

	자원보존성	환경친화성			확산저항	경제성	종합 선호도 점수 (우선순위)			
	천연U 소비량	SF발생량	MA질량	굴토량	Pu재고량	비용	직접처분	DUPIC	열중성자로	GEN-IV
Case 1	0.38	0.36			0.21	0.05	8.5 (4)	13.4 (2)	9.4 (3)	68.7 (1)
		0.62	0.27	0.11						
Case 2	0.41	0.17			0.28	0.11	11.1 (4)	16.9 (2)	11.9 (3)	60.1 (1)
		1/3	1/3	1/3						
Case 3	1/4	1/4			1/4	1/4	11.2 (4)	14.7 (2)	11.3 (3)	62.8 (1)
		1/3	1/3	1/3						

결론

사용후핵연료 처리 기술의 다차원적인 종합 평가를 위해, 평가기준간의 상호독립성을 가정하는 해석적 계층과정 기법이 적용되었으며, 기준 가중치에 대한 민감도 분석이 수행됐다. 앞으로는 사용후핵연료 처리 기술의 보다 더 현실적인 종합 평가를 위해, 평가기준간의 상호의존성을 고려할 수 있는 다속성 의사결정(Multi-attribute Decision-making, MADM) 기법, 예를 들면, 해석적 망형과정 (ANP) 기법이 적용될 필요가 있다.

참고문헌

권은하, 고원일 (2007), 다요소 효용함수 이론과 계층화 분석법을 이용한 핵연료주기 시스템 분석, 2007년도 한국방사성폐기물학회 추계학술발표회 포스터 자료, May 31-June 1, 2007, 경주.
 김성호 외 (2005), 해석적 계층과정 기법의 적용: 종합적인 국가 에너지시스템의 평가, 2005년도 한국에너지공학회 추계학술발표회 초록집, 2005 5월 13일, 서울.
 이창호 (1998), 집단 의사결정을 위한 다속성 의사결정법, 신라대학교 논문집 46, 81-111.