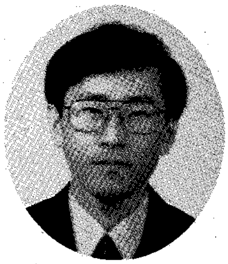
논 단

방사성폐기물관리시설과 입지선정

의사 결정수단을 적용한 입지선정 방법



정 진 엽

한국전력기술주식회사 핵공학기술부

원자력 발전의 원활한 추진을 위해서 후행핵주기의 확립은 매우 시급한 과제이며 더 이상 미룰 수 없는 시점에 와 있는 것으로 판단된다. 따라서 중저준위 폐기물 처분장 및 사용후연료 중간저장시설의 부지확보를 위해서 이에 대한 보다 활발한 논의를 전개할 필요가 있다.

따라서, 여기에서는 일반적인 부지선정상의 주관성, 불확실성 등을 반영하여 객관적인 평가를 내릴 수 있는 방법을 소개하고자 한다.

의사결정 방법은 그동안 다수의 방법들이 소개되어 왔으나 여기에서는 방사성폐기물 처분장 부지선정과 같이 불확실하거나 주관성이 많이 개입되어 있는 상황에서 적용되고 있는 두 가지 의사결정 방법을 소개하기로 한다. 여기에서 소개한 방법은 퍼지(Fuzzy)이론을 이용한 방법과 해석적 계층과정(Analytic Hierarchy Process)을 이용한 방법으로 두 방법 모두 특별히 어려운 개념이 아니며 널리 사용되고 있는 개념이므로 자세한 개념 소개나 수식의 인용은 생략하고 적용방법만 소개하기로 한다. 단, 입지선정시 선정기준과 이에 대해 가중치를 주는 문제는 다소 검토의 여지가 있으므로 선정기준은 변수로 처리하였다.

퍼지이론을 이용한 입지선정

지금까지 대부분의 사람들은 과학이 발달할수록 애매모호한 현상들이 줄어들 것이라는 관념을 갖고 있었고, 따라서 어떤 개인이 갖고 있는 주관이나 개성은 평균치로 처리되었다. 그러나 인간 중심의 과학이 제기됨에 따라 애매모호한 면을 처리할 수 있는 퍼지이론의 적용사례가 소개되고 있다. 우리가 흔히 쓰는 「애매모호하다」라는 말에는 다음과 같이 의미가 담겨져 있다.

① 지식이 부족하여 잘 모른다(Incomplete) ② 해석이 몇가지나 있어 잘 모른다(Ambiguity) ③ 미래의 일이라서 잘 모른다(Randomness) ④ 정확하지 않다(Imprecision) ⑤ 정의할 수 없거나 또는 정의해도 의미가 없다(Fuzziness) 등 이다.

의사 결정방법에 대한 퍼지이론의 적용은 각 선정기준에 대한 대안의 단순평가, 서로 다른 가중치를 가진 선정기준하에서의 대안평가와 결정함수를 이용한 최적안 도출의 세 가지 방법으로 적용되고 있는 데, 첫째 방법은 실제 현상을 다루기에는 너무 단순하고 세째 방법은 최종단계에서 결정권자의 주관에 따라 선택되는 대안이 달라질 수 있기 때문에 보다 확실하게 의사 결정에 도움을 줄 수 있는 두 번째 방법이 가장 현실성이 있다. 그러므로 여기에서는 두 번째 방법을 소개

표1. 선정기준에 대한 멤버쉽함수

μ	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	1	0.4	0.6	0
C_2	1	1	0.8	1
C_3	0.2	1	1	1
C_4	0.8	0	1	1

표2. 각 선정준별 후보지 평가

C_1	L_1	L_2	L_3	L_4
L_1	1	0.8	1	0
L_2	0	1	0.2	0
L_3	0	0.8	1	0
L_4	0	0	0	1

C_2	L_1	L_2	L_3	L_4
L_1	1	0.1	0.5	0.3
L_2	0.8	1	0.8	0.8
L_3	0.5	0.3	1	0
L_4	0.8	0	0	1

C_3	L_1	L_2	L_3	L_4
L_1	1	0	0.8	0
L_2	0	1	0	0
L_3	0.1	0	1	0.4
L_4	1	1	1	1

C_4	L_1	L_2	L_3	L_4
L_1	1	1	0.9	0
L_2	0	1	1	1
L_3	0.4	0	1	0
L_4	0	0	0	1

표3. ϕ^{ND}와 멤버쉽함수간 퍼지관계식

μ	L_1	L_2	L_3	L_4
L_1	1	1	0.5	1
L_2	0.4	1	0.5	1
L_3	0.4	0.5	0.5	0.5
L_4	1	0.8	0.5	1

하기로 한다.

퍼지이론에서는 기존의 해석방법이 불확실성을 통계적 기법으로 정량적인 취급한 것과는 달리 「참(1) 거짓(0)」 사이의 어떤 중간 값(멤버쉽함수)을 도입하여 불확실성을 표현한다. 즉, 멤버쉽함수는 어떤 요소가 그 집합에 속해 있는 가능성을 나타낸다. 방사성폐기물 입지선정시에 퍼지이론은 다음과 같이 적용할 수 있다.

예를 들어, 최적부지를 선정하기 위하여 4개의 선정기준 C_1, C_2, C_3, C_4에 대해 4개의 후보지 L_1, L_2, L_3, L_4를 평가한다고 할 때 선정기준에 대한 멤버쉽함수를 〈표1〉과 같이 만들 수 있다.

〈표1〉에서 $(C_1, C_3)=0.6$이 의미하는 바는 의사결정시 선정기준 C_1의 중요성이 C_3보다 0.6 정도의 비중을 가짐을 나타낸다. 다음으로 4가지의 선정기준을 각 후보지가 어느 정도 만족시키는 가를 평가해야 하는 데 이에 대한 예는 〈표2〉와 같이 나타낼 수 있다. 〈표2〉에서 선정기준 C_4에 대해 $(L_2, L_4)=1$이 의미하는 〈표1〉에서와 마찬가지로 선정기준 C_4의 관점에서 L_2에 처분장을 건설할 때의 기준만족 여부가 L_4에 처분장을 건설할 때와 같음을 나타낸다.

일반적으로 결정을 내릴 때는 다른 대안들에 비해 뛰어난 최선책을 구하는 것이 바람직하겠으나 이는 현실적으로 구하기 어려우므로 다른 대안에 가장 덜 지배되는대안(Non-Dominated Alternative)을 선택하는 것이 합리적이다. 이와 함께 실제 상황에서 비록 전문가들이라도 모든 대안에 대해 뚜렷한 판단을 갖지 못할 수도 있으므로 이런 경우는 최종 결정권자가 각 대안들 사이의 선호도에 있어 그 확신하는 정도를 [0, 1]구간 사이의 수로 나타낼 수 있다. 이 과정에서 $\phi(x, y, c)$를 선정기준 c에 대한 평가표에서의 (x, y)값이라고 정의하면 비지배 대안의 퍼지부함수 $\phi^{ND}(x, c)$는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\phi^{ND}(x, c)=1-\sup_{Y \in Z}[\phi(y, x, c)-\phi(x, y, c)]$$

이에 따라 $\phi^{ND}(L_1, C_1)$은

$$\phi^{ND}(L_1, C_1)=1-\sup[0, -0.8, -1, 0]=1-0=1$$

이 되고 나머지도 마찬가지 방법으로 얻을 수 있다. 여기에서 다시 퍼지관계식 $\eta(x, y)$와 이에 대한 퍼지부집합 $\eta^{ND}(x)$를 각각 아래와 같이 정의한다.

$$\eta(x, y)=\sup_{c\,c''}\min_{SC}[\phi^{ND}(x, c'), \phi^{ND}(y, c''), \mu^{ND}(c', c'')]$$

$$\eta^{ND}(x)=1-\sup_{Z \in X}[\eta(z, x)-\eta^{ND}(x, z)]$$

위와 같이 정의에 따라 각 후보지에 대해 계산하면 퍼지관계식은 표3과 같이 얻을 수 있고 퍼지부집합은 다음과 같이 얻어진다.

$$\eta^{ND}(L_1)=1-\sup[1-1, 0.4-1. 4-0.5, 1-1]=1-0=1 \cdot$$

$$\eta^{ND}(L_2)=1-\sup[0.6, 0, 0, 0.2]=1-0.6=0.4$$

그림 1. AHP 계층 구조예(3단계)

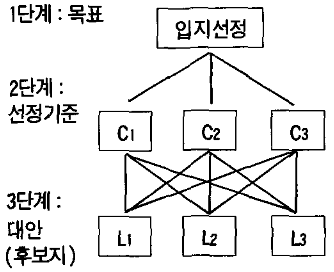
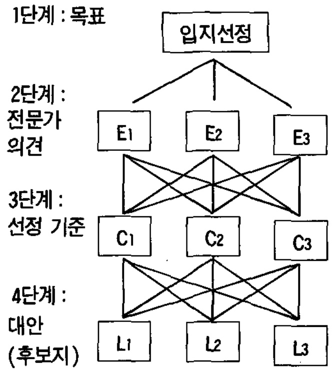


그림 2. AHP 계층 구조예(4단계)



$\eta^{ND}(L_3)=1-\sup[0.1,\ 0,\ 0,\ 0]$
$=1-0.1=0.9$

$\eta^{ND}(L_4)=1-\sup[0,\ 0.2,\ 0,\ 0]$
$=1-0.2=0.8$

그러나, 〈표3〉에서 $\eta(L_3, L_3) \neq 1$ 이므로 다시 $\eta^{ND}(x)$

$\tilde{\eta}^{ND}(x)=\min \mid \eta^{ND}(x), \eta(x,x) \mid$

와 같이 정의여 아래와 같은 최종결과를 구할 수 있게 된다.

$\tilde{\eta}^{ND}(L_1)=1$, $\tilde{\eta}^{ND}(L_2)=0.4$,

$\tilde{\eta}^{ND}(L_3)=\min[0.9,\ 0.5]=0.5$,

$\tilde{\eta}^{ND}(L_4)=0.8$

위의 결과에 의하면 비지배성이

표4. 상대적 중요도 결정 방법

중요도	정 의
1	두가지 비교요소가 서로 같은 중요도를 갖는 경우
3	비교대상보다 약간 더 중요한 경우
5	비교대상보다 훨씬 더 중요한 경우
7	비교대상보다 매우 더 중요한 경우
9	비교대상에 비해 절대적으로 중요한 경우
2, 4, 6, 8	홀수값 사이에 절충이 필요한 경우

표 5. 선정기준에 대한 중요도 예

	C1	C2	C3
C1	1	1/5	1
C2	5	1	7
C3	2	1/7	1

표 6. 각 선정기준별 후보지 중요도 예

C1	L1	L2	L3
L1	1	3	5
L2	1/3	1	2
L3	1/5	1/2	1

C2	L1	L2	L3
L1	1	1/2	8
L2	2	1	9
L3	1/8	1/9	1

C3	L1	L2	L3
L1	1	6	1/5
L2	1/6	1	1/3
L3	5	3	1

가장 큰 후보지가 L_1이므로 L_1을 가장 합리적 또는 최적인 부지로 선택할 수 있다.

AHP를 이용한 입지선정

해석적 계층과정(AHP) 방법은 Thomas L. Saaty에 의해 개발되어 인간의 직관적인 판단을 해체 및 합성하는 과정을 통하여 사회 각 분야에서 발생하는 문제들을 모델링할 수 있는 기법으로서 대만에서 사용연료 임시저장시설의 방식선정에 이용한 것을 비롯하여 국내에서도 과거 부지선정을 위한 미국 Battelle社와의 공동연구에 이용된 사례가 있다. 이 방법은 모델이 안정적이고 그 적용시에 있어 유연성이 있는 것이 장점이며 인체 신경계통, 생태계, 사회, 정치조직과 같은 다소 추상적인 모델에도 사용될 수 있다.

해석적 계층과정(AHP) 방법을 적용하기 위해서는 먼저 각 계층을 정의하고 각 계층에서의 상대적 중요도를 정의해야 한다. 그 예로서 〈그림 1〉과 같이 각각 3개의 선정기준과 후보지로 이루어진 3단계 계층모델을 보기로 한다. 그림에서 항상 최상단에는 목표를 위치시키고 최하단에는 각 대안을 놓는다. 각 단계에서 상대적 중요도는 〈표4〉의 원칙에 따라 판단하여 〈표5〉 및 〈표6〉과 같이 중요도 행렬을 정의한다. 단, 표

표 7. 선정기준(2단계)의 중요도에 대한 선호도 계산

	C_1	C_2	C_3	기하평균	선호도
C_1	1	1/5	1/2	0.464	0.11
C_2	5	1	7	3.271	0.74
C_3	2	1/7	1	0.659	0.15
			계	4.394	1.00

표 8. 2단계 및 3단계에 대한 최종 선호도 계산

선정기준	C1	C2	C3	최종선호도
2단계선호도	0.11	0.74	0.15	
3단계선호도				
L1	0.65	0.36	0.27	0.38
L2	0.23	0.59	0.10	0.48
L3	0.12	0.05	0.63	0.14

에서의 값들은 앞서 소개한 퍼지이론 적용방법과는 별개로 임의로 준 값들이다. ⟨표5⟩와 ⟨표6⟩에서(C_2, C_3)=1/7이 의미하는 바는 ⟨표4⟩에 설명한 바와 같이 선정기준 C_2의 중요성이 C_3에 비해 매우 중요하거나 또는 C_3의 중요성이 C_2에 비해 매우 적음을 나타낸다.

지금까지의 과정은 퍼지이론의 적용방법과 비슷한데 가장 큰 차이점은 퍼지이론에서는 상대적 중요도를 [0, 1]사이의 값으로 정의하는 반면 해석적 계층과정(AHP)에서는 (반드시 지켜야 하는 원칙은 아니지만) 보통 1과 9사의의 값으로 정의한다는 점이다. 또한, 해석적 계층과정(AHP)에서는 상대적 중요도를 나타내는 행렬에서 (x, y)의 값을 (y, x) 값의 역수로 정의한다는 점에서 퍼지이론에 비해서는 일관성이 있다.(표5 참조)

선정기준에 대한 상대적 중요도를 나타내는 행렬에서 최적의 대안을 찾아내는 방법은 해석적 계층과정(AHP)과정 이전에도 계층결정모델(Hierarchical Decision Model)을 비롯하여 유사한 풀이법들이 있어 왔으나 해석적 계층과정(AHP)에서는 ⟨표7⟩과 같이 풀이한다. 즉, 중요도 행렬에서 각 열의 원소들을 곱하여 기하평균을 구한 후 그 결과를 정규화시켜 선호도를 구한다.

이와 같은 과정을 ⟨표5⟩에 대해 적용하면 ⟨표7⟩과 같이 요약할 수 있다. 마찬가지 방법으로 ⟨표6⟩에 대해 선호도를 계산하면 ⟨표8⟩의 3단계 선호도를 얻을 수 있으며 각 대안들에 대한 이 값들을 2단계 선호도와 곱하여 결합시키면 ⟨표8⟩의 최종 선호도를 얻을 수 있다. 즉, (L_1)의 예를 들면

L_1의 최종 선호도=0.11×0.65+0.74×0.36+0.15×0.27=0.38

이 되고 이에 따라 최종선호도가 가장 높은 값은 L_2 이므로 결정권자 입장에서는 L_2를 선택하게 된다. 이 결과는 앞서 설명한 퍼지이론 적용방법과 다른 조건하에서 계산한 것이므로 두 방법상에 결과가 서로 모순됨을 타나내는 것은 아니다.

이상의 보기에서 간단한 예를 보여주기 위해 선정기준과 후보지의 수를 단순화시켰지만 해석적 계층방법(AHP)에서는 얼마든지 그 구성요소를 증감시킬 수 있으며 이로 인해 모델의 안정성에도 영향을 미치지 않는다. 또한 구성계층의 수를 늘려 ⟨그림2⟩와 같이 1단계와 2단계 사이에 전문가들의 의견을 포함시킬 수 있고 선정기준을 점 더 세분화시켜 두세개의 계층으로 구성할 수있다.

앞에서 언급한 바와 같이 방사성폐기물 처분장의 입지선정에 관한 문제는 원자력 발전의 미래를 좌우할 수 있는 문제이기 때문에 이를 위해 관련 분야의 폭넓은 논의가 따라야 할 것으로 생각된다. 여기에 소개한 퍼지이론을 이용한 방법과 해석적 계층과정(AHP)을 이용한 방법은 개인마다 다른 주관을 반영시킬 수 있고 관련 분야를 비롯한 다양한 적용 사례를 갖고 있기 때문에 부지선정을 포함하여 의사결정이 어려운 다른 분야에도 참고할 수 있을 것으로 생각된다.