

방사선 방어의 최적화 절차론 개발에 관한 연구

송중순

조선대학교

요 약

방사선 방어의 최적화 수행에는 적용의 다양함 등을 고려할 때, 절차론이 반드시 필요하게 된다. 본 연구에서는 발전소 설계 단계에서의 최적화 절차론을 제시하고, 이를 피폭 저감대안의 선정 문제에 적용하였다. 의사결정 보조기법으로는 다기준 기법을 사용하였으며, 그 결과 대안의 우선순위를 결정하고, 최적화의 결과를 실제 적용하는 문제를 분석하였다. 이러한 최적화 절차론은 발전소 이외에 방사성 폐기물 관리나 방사선의 의학적 이용 등의 분야에도 적용될 수 있다.

Key words : 방사선 방어, 최적화 절차론, 최적화 기법, 의사결정

서 론

방사선 방어에 관한 원칙은 국제 방사선 방어 위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)의 권고가 국제적 기준으로 통용되어 왔는데, 방사선 피폭을 낮추기 위한 노력은 1959년 ICRP의 첫 권고인 Publication 1에서 모든 방사선 피폭은 “적용 가능한 낮게(As Low As Practicable, ALAP)” 유지해야 한다는 내용에서 출발한다[1]. 이 권고는 ICRP 선량제한 체계의 기본을 이루는데, 다음과 같은 두 가지의 기본 개념을 포함하고 있다.

- 모든 불필요한 피폭은 방지되어야 한다.
- 모든 선량은 적용 가능한 한 낮게 유지해야 한다.

이 개념을 발전시켜 나가는 과정에서 피폭 선량을 적용 가능한 한 낮게 유지하기 위한 허용 선량의 수준을 결정하는데 있어서 반드시 경제·사회적 인자를 고려해야 한다는 인식에 도달하게 된다. 이러한 인식을 반영하여, 1965년 발표한 Publication 9에서는 피폭 선량은 “경제·사회적 인자를 고려하여 손쉽게 달성가능한 한 낮게(As Low As Readily Achievable, economic and social considerations being taken into account)” 유지해야 한다고 권고하였다[2]. 그런데, 이러한 권고를 정성적으로만 표현하는 것은 이를 실제로 반영하는데 있어서 많은 어려움을 야기할 수 있다.

1973년 ICRP는 Publication 22를 발표하면서 기존의 애매한 “Readily” 라는 용어를 “Reasonably”로 바꾸고, 방사선에 의한 위해의 정도를 집

단선량이라는 양적인 개념의 단위로 처음 표현하였다[3]. 이와 함께, 집단선량을 금전적 가치로 환산할 수 있는 방식을 도입하여, 방사선 방어의 목적을 달성하기 위해 최적화 방법의 일종인 편의 비용분석법을 사용할 수 있도록 제안하였다.

방사선 방어에 관한 ICRP의 일련의 노력은 1977년 발간한 Publication 26을 통하여 선량 규제의 기본 체계를 확립하게 되는데, 그 권고 사항은 다음과 같이 요약할 수 있다[4].

i) 행위의 정당화-방사선에 의한 영향이 수반되는 어떠한 행위도 양의 순이익을 가져오지 않는 한 채택될 수 없다.

ii) 방사선 방어의 최적화-모든 피폭은 경제적 및 사회적 요인을 고려하여 합리적으로 달성할 수 있는 한 낮게 유지하여야 한다(As low as reasonably achievable, ALARA)

iii) 개인의 선량당량 한도-개인에 대한 선량당량은 위원회가 상황에 따라 권고하는 한도를 넘어서는 안된다.

위의 세 가지 항목으로 이루어진 선량제한 체계는 방사선 방어의 최적화를 달성하고자 하는 개념으로 발전하여 방사선 피폭을 수반하는 모든 행위에 적용되고 있다. ALARA Program의 기본 목적은 방사선 피폭이 수반되는 행위를 통해 얻을 수 있는 이득과 그 행위로 인하여 부득이 발생하는 방사선 피폭의 위해 사이의 절대적인 균형을 달성하는데 있다. 결과적으로 방어 선택에 있어서 확실한 합리화가 요구된다. 이러한 합리화를 통하여 경제적 측면과 보건 측면간의 균형이 만족할만큼 이루어져야 한다. 이를 수행하기 위하여 여러 종류의 의사 결정 보조 기법이 사용될 수 있는데, 특히 ICRP가 인용한 비용/이득 분석이 실제적으로 유용하다.

1990년 발표된 ICRP의 Publication 60는 기존의

권고들과는 달리 방사선 방어에 관한 방법상의 개선에 관한 것뿐만 아니라 선량 제한치의 대폭적인 변경을 포함하고 있어서 큰 차이를 보이고 있다[5]. 방사선 작업자에 대한 이제까지의 연간 5 rem으로 주어지던 선량 제한치 대신 5년간 10 rem 이하로 방사선 피폭 수준을 낮추도록 권고하고 있는데, 이는 실질적으로 선량 제한치가 기존의 40% 수준으로 낮아지는 효과를 가진다. 한편, 방사선 피폭에 대한 위험계수가 이전보다 약 3배 정도 증가한 것으로 재평가하였으며, 이를 근거로 선량한도의 체계를 약 2.5 배 정도 낮게 권고하고 있다.

방사선 방어의 문제에 ALARA 최적화를 적용하는 것은 방사선 방어의 분야가 매우 다양하므로 단일화된 접근법은 존재할 수 없고, 해당 분야의 특성을 충분히 고려해야 한다는 제약이 있다[6]. 또한, 규제 기관이나 ICRP에서 제시하는 방사선 방어의 원칙은 선량제한치와 ALARA로 주어지는데, 선량제한치의 준수는 비교적 수월하게 보여줄 수 있지만 ALARA의 경우 최적화의 적용 필요성만을 규정하고 있어서 이를 실제로 적용하는 것은 또다른 연구의 영역이 되어 버린다. 방사선 방어의 대안 또한 관련 변수가 일치하지 않을 수도 있고, 다양성을 충분히 고려해야 합리적인 결정이 가능하므로 각 대안의 상호 비교도 체계적으로 이루어져야 한다. 이러한 점들을 고려할 때, 최적화 방법론의 적용에는 체계화된 최적화 절차론이 반드시 필요하며, 이 절차론은 고려할 문제의 성격에 따라 이를 수용할 수 있는 유연성을 가져야 한다.

최적화 절차론

최적화 절차론 개발의 목표는 방사선 방어의 최적화에 대한 일반적 개념을 정립하고, 서로 다른

의사결정의 수준과 내용 안에서 적절한 기법을 사용하여 최적화의 적용 방법을 결정하는 것이다.

새로운 시설을 설계하거나 기존의 시설을 개선하는 작업은 매우 복잡한 반복적인 과정으로서 많은 시스템에 관한 변수 및 특성들이 비용 조건과 연관된다. 따라서, ALARA 원칙을 적용하여 인간 및 환경의 방사선 피폭을 최대한 감소시키는 방향으로 관련 설비를 설치하고자 하는 경우, 설계자는 방사선학적 조건 이외에도 소요 비용 등의 다른 일반 조건 등도 함께 고려해야 한다. 최적화에 대한 구조적 접근법을 설계 단계에 적용하게 되면 그림 1과 같은 절차도를 따라 최적화를 수행하게 된다[7].

1. 분석할 상황의 범위 정의

최적화 절차에서 고려해야 할 인자와 대안의 선택 범위를 명확히 하기 위해서는 상황을 먼저 적절하게 기술해야 한다. 다음으로 두 가지 범주의 방사선 방어 인자로 구분해야 할 필요가 있다. 첫번째 범주에는 해석적 절차에 반드시 포함되는 인자로서 여기에는 특히 방어 비용과 집단 선량이 해당된다. 두번째 범주에는 개인 선량의 분포, 선량의 시간에 따른 분포, 선량을 받는 인구수, 사건의 확률, 대안의 신뢰도 등과 같은 인자들이 속한다.

2. 대안의 파악

이 단계는 방사선 방어 문제에 대한 명확한 해뿐만 아니라 덜 명확한 대안도 고려할 기회를 줄 수 있기 때문에 매우 중요하다. 초기 단계에 실질적인 대안들로 이루어진 집합을 만들어야 하는데, 여기에는 세 가지 작업이 포함된다.

- 모든 대안의 가정(가능하면 창의적으로)
- 명백하게 비실질적인 대안을 제외하기 위한 예비 평가
- 분석에 사용할 대안의 파악과 구체화

3. 대안의 성능 평가

여기에서는 구체화된 개별 인자에 대한 각 대안의 성능을 평가하게 되는데, 가능하면 정량화시키는 것이 필요하다. 설계 단계에서는 측정 등이 수월하지 않으므로 모델을 사용하여 성능을 예측할 수 밖에 없다. 따라서 모델링 작업이 절차상 매우 중요한 부분이 되며, 환경이동 모델 등을 사용하게 된다. 최적화 목적에 쓰이는 모델과 입력자료는 가능한 한 실제적이어야 한다.

4. 정량적 의사결정 보조기법의 사용

대안의 성능과 비용을 비교하기 위해서는 여러가지 정량적 기법을 사용할 수 있는데, 일의 성격과 범위에 따라 선택하여야 한다[8]. 방어 대안이 건설될 발전소에 큰 수정을 요구할 경우, 대안의 비교에는 많은 인자가 결부되어 이를 취급할 수 있는 적절한 방법이 필요하다. 반면에, 방어 대안이 특정 부품과 같이 좁은 측면만을 다룰 경우, 집단 선량과 방어 비용의 두 가지 인자 결정으로도 충분할 것이다. 이 경우에는 비용-이득 분석과 같은 단순한 기법이 적절하다.

입력자료의 활용가능성이나 질 같은 사항이 기법의 선택에 영향을 미칠 수 있다. 큰 불확실성이 존재하는 경우, 단순한 기법보다는 다기준 우선순위 기법 등과 같이 불확실성을 고려할 수 있는 기법이 선호된다. 이 단계에서는 고려 인자에 대한 대안의 성능 평가를 위해 기준을 도입할 필요가 있는데, 이러한 기준의 대표적인 예는 제한으로 작용하는 선량 제한치 혹은 단위 집단 선량당 금전적 가치 등을 들 수 있다.

5. 민감도 분석

전 단계에서 쓰인 모델과 입력자료는 다음과 같은 형태의 불확실성을 가진다.

- 대안의 성능과 관련한 불완전한 지식
- 모델에 의존한 예측

- 기술적 개혁이나 새 부품의 신뢰도 등 미래에 대한 무지

- 변수의 통계적 처리에 의한 내재적 불확실성
기본적으로 다른 형태의 가변성이 단위 집단 선량의 가치과 같은 최적화 연구에 쓰이는 기준과 관련되어 있다. 이러한 기준은 외적으로 주어지지만 민감도 분석의 일환으로 다른 기준을 적용할 때 결과의 차이를 알아보는 것도 타당하다.

6. 최적화 연구의 결과

정량적 기법의 적용 결과는 해석해로 간주된다. 그러나 정량화할 수 없는 방사선 방어 인자를

고려해야할 경우, 주어진 해석해는 최적해가 될 수 없다. 정성적 인자를 해석 해와 같이 고려해야 진정한 최적점에 도달할 수 있다.

7. 결정에의 도달

최적화 절차를 통해 일반적으로 하나나 소수의 권고 대안의 집합을 얻을 수 있게 된다. 단순한 설계 문제의 경우, 다른 인자들은 거의 중요한 역할을 하지 못한다. 더구나 최적화 연구는 결정권자에 의해 주로 수행되거나 그 결과가 결정권자에게 최종적으로 제공되므로, 최종결정은 최적화 절차에 의한 권고 결과가 대부분 그대로 받

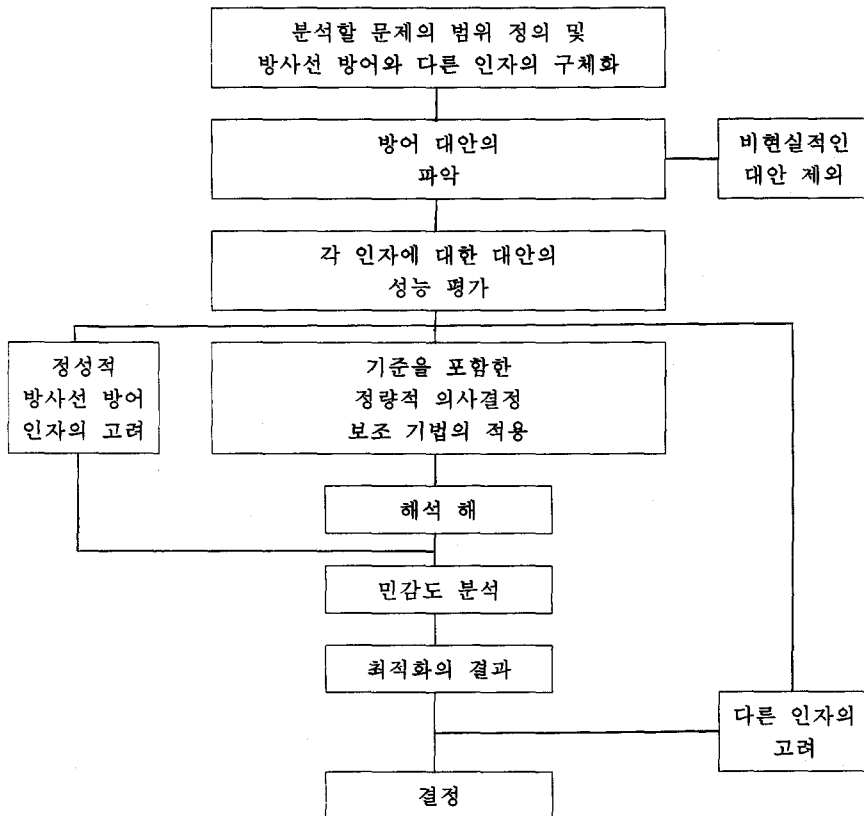


그림 1. 설계 단계에서의 최적화 절차

8. 일반적 결론

동일하거나 유사한 설계 문제에 관해 여러번의 최적화 연구가 수행되었다면, 또는 표준설계에 대하여 일반적 최적화가 적용되었다면, 결과로부터 표준화된 설계 변수들을 찾아낼 수 있다. 이 변수들은 설계자가 목표치 만족을 통해 최적 설계를 실행할 수 있도록 직접적으로 쓰일 수 있다.

운전 단계에서의 최적화는 설계 단계보다 정량화하기가 쉽지 않은데, 그 이유는 선택의 폭이 이미 선정된 설계에 의해 제한된다는 것과 고려해야 할 인자가 정량화하기 어렵기 때문이다. 설계의 경우 보다 작업자, 직속 감독자, 방사선 방어 관련 종사자나 관리자 등에 더 의존적이며, 단순한 평가가 때때로 쓰이는데, 실지로 많은 피폭이 실질적인 운전의 차원에서, 감지할 수 있지만 비정량적인 절차에 의해 감소되고 있다. 이러한 경우처럼 직접적인 최적화의 실천은 작업자에 대한 적절한 교육과 훈련에 의해 가능하다[9, 10].

최적화 절차론의 적용

방사선 방어는 반드시 최적화되어야 한다는 권고가 ICRP에 의해서 제시되어 있지만, 이러한 권고의 이행 주체가 누구이어야 한다는 점은 명확하지 못하다. 설계자, 운전자, 의사 결정자 등 이들중 누구도 주체가 될 수 있지만, 최적화를 보다 폭넓은 관점에서 추구할 때, 방사선 방어에 관한 최적화 권고의 이행이 의사 결정의 어느 단계에서 이루어지는지의 관련 사항을 명확히 하는 것이 도움이 될 것이다.

한편, 최적화 절차의 적용에는 방어 대안과 관련된 방사선 방어 인자의 파악이 필요하다. 또한, 이들 대안의 비용과 성능을 최적화 과정에서

고려하려면, 반드시 정량화가 요구된다. 정량화가 필수적인 인자들을 정리하면 다음과 같다[11].

- 방어 비용(직접 비용, 훈련 비용 등)
- 집단 선량
- 개인의 선량 분포
- 선량의 시간적 분포
- 선량을 받을 확률
- 작업 구역내 선량율
- 피폭 인구의 특성

여기서 최적화에 이르는 해석적 절차에 반드시 포함되는 방사선 방어 인자는 집단 선량과 방어 비용이며, 그외의 인자들을 고려할 문제의 성격에 따라 포함 여부가 결정된다.

정량화에 사용되는 의사결정 보조기법의 사용의 측면에서 볼 때, 특정한 성격의 분석에 항상 특정한 기법이 성공적이라는 의미로 통용될 수는 없다. 이러한 측면을 고려하고 또한 완전한 분석이란 대부분의 경우 정량적인 요소와 정성적인 요소의 조합을 요구한다는 점을 이해하게 되면, 기법의 선택에 관한 문제는 덜 중요해지기 마련이다. 아마도 대부분의 경우 단순 혹은 확대 비용-이득 분석 이상의 기법은 필요하지 않을 것이다. 그러나, 더 적응적인 기법을 고려하는 것은 매우 중요한 작업이며, 특히 다속성 효용 분석의 경우 더 그러하다. 왜냐하면 분석을 통해 정량화가 쉽지 않은 인자를 다룰 수 있고 이해하는 데도 많은 도움을 줄 수 있기 때문이다[12].

최적안의 선택은 다양한 대안의 성능을 어떻게 평가하느냐에 달려 있다. 만일 비용과 집단선량의 두 가지 기준이 이러한 성능을 표시하는데 충분하다면, 비용/이득이나 비용-효율성 분석 등의 총계적 기법이 대안의 신속한 분류를 위한 효과적인 수단이 될 것이다. 비용/이득 분석은 효용 함수에 기초한 중요한 방법으로 광범위하게 쓰이고 있는데, 이 방법은 관계기준을 모두 금전

가치로 표현할 수 있고, 효용은 그러한 금전화된 기준과 선형 관계를 가진다고 가정한다. 비용/이득 분석에 있어서 각 기준의 가중치는 그 기준을 특징짓는 단위의 금전 가치로 나타낼 수 있다. 그러나 방사선 방어의 최적화에 관한 문제는 다음과 같이 다차원적 성격을 가진다[13].

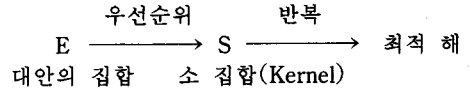
- 투자, 운전 및 유지 비용
- 일반 대중의 보전에 대한 영향
- 작업자의 보전에 대한 영향
- 임계 집단의 보전에 대한 영향
- 대안의 신뢰도
- 사고시 대안의 역할
- 거시 경제적 영향

이러한 다차원의 문제에 총계적 기법을 사용하는 경우, 문제의 제 측면을 동일한 차원(특히 금전적 가치의 차원)으로 변환 시켜야 하는 어려움이 따른다.

1) ELECTRE 기법[14]

본 연구에서는 다기준 기점으로 Eelectre 기법을 선정하여 방사선 방어의 최적화에 적용하고자 한다. 직접적으로 총계적인 비용/이득 분석과는 달리, Eelectre 기법은 대안의 비교에 기초하고 있다. 연속소거 기법으로서, 비교적 한정된 수의 대안이 존재하는 다목적 결정의 문제를 해결하기 위해 고안되었다.

이 기법의 수행에는 '우선순위 관계(Outranking Relation)'의 결정이 필요하다. 우선순위 관계는 현재의 정보에 근거하여 주어진 한 쌍의 대안들에 관한 조건부 우선성을 나타내며, 가치 함수에 대한 대리 모델로 볼 수 있지만, 가치 함수와 비교하여 볼 때, 순위 결정력의 측면에서 덜 정형적이고 약한 개념이다. 방법론으로 보면 수행 과정을 다음과 같이 도시할 수 있는데



여기에는 다음의 두 종류의 다른 배열을 이용하게 된다.

i) 강 우선 순위(Strong Outranking)

모든 기준에 대해 i 가 j 보다 우선하거나 동등하면, 대안 i 는 j 보다 우선한다.

이 단계에서는 동일한 등급에 속한 대안들을 구별하는 것은 불가능하며, 또한 위의 결과는 각 기준의 상대적 가중치와 관계없이 얻어진 것이다. 이러한 이유로 보편 영향을 평가하는 미묘한 문제는 제외하였다. 강 우선 순위에 의한 결과는 매우 초보적이므로 대안들을 좀더 세분하는 것이 필요한데, 이를 위해 약 우선 순위가 쓰인다.

ii) 약 우선 순위(Weak Outranking)

만약 j 라고 i 를 선택하는데 따른 후회가 경미하다면, 대안 i 는 j 에 약하게 우선한다. 후회의 정도는 다음의 2가지 개념으로 정의할 수 있다.

-일치 상수(Coefficient of Concordance) c_{ij} 는 i 가 j 보다 우선한다는 가정과 i 가 j 보다 낮거나 동등한 기준의 그룹 $C(i, j)$ 와의 일치를 나타내는데 i 가 j 보다 강하게 우선하면 $c_{ij}=1$ 이다.

-불일치 상수(Coefficient of Discordance) d_{ij} 는 j 대신 i 를 선택하는데 따른 후회의 정도를 나타내며, 만약 i 가 j 보다 강하게 우선하면 $d_{ij}=0$ 이 된다.

ELECTRE 기법의 algorithm을 정리하여 보면

- i) 모든 대안에 대한 속성의 가치를 나열한 행렬을 구성한다.
- ii) 강 우선 순위를 적용, Kernel을 구한다.
- iii) 각 Kernel에 대해 약 우선 순위를 적용, Kernel 내 순위를 결정한다.

방안	추가비용 (* 10 ⁶ \$)	피폭 저감량 (man-rem)	임계경로단축 (시간)	
A1	2.67	712.5	813.25	노용기 Head 개폐시 50% MST 사용
B1	1.92	125	?	잔열제거 Pump 교체
C1	0.448	1192.5	412.5	S/G cover 개폐시 K-B MST 사용
D1	27.6	125	?	RCP 밀봉의 개선
E1	0.606	47.75	675	핵연료 재장전기(SIGMA)
F1	4.0	250	?	1차 개통 Valve 개선
G1	0.2	50		원자로 Cavity 수정화
H1	0.14	450	?	S/G 탈상실험 기기 개선
H2	0.432	375	?	S/G 탈상실험 원격 조작
I1	0.6	175		여과기 Catridge 원격 교체
I2	8.76	325	60	역류 여과기 사용

iv) 만일 Kernel S가 하나의 요소만을 포함하거나, 최종 해를 선택하기 위해 가치 판단을 적용할 수 있을 만큼 작으면 → STOP.

2) 절차론의 적용

(1) 분석할 상황의 범위 정의

위에서 제시한 절차론에 의거하여 운전중인 원자력 발전소에서의 작업중 방사선 피폭의 감소 방안을 선택하는 문제에 최적화 절차론을 적용하여 보겠다. 방사선 방어 인자로는 방어비용과 연간 피폭선량, 임계경로 단축시간을 선택하였다.

(2) 대안의 파악 및 대안의 성능 평가

작업중 방사선 피폭의 저감 대안은 현재 적용할 수 있는 기술에 한하여 분석하였고, 각 방사선 방어 인자에 해당하는 자료를 확보하여 대안간 정량적인 비교가 가능하도록 하였다[15, 16].

(3) 정량적 의사결정 보조기법의 사용

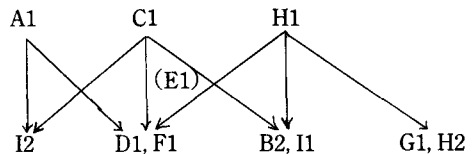
Electre 기법의 적용을 위해 채택한 가정은 다음과 같다.

- 피폭비용 : \$ 1,000/man-rem
- 대체전력비용 : \$ 15,000/시간

위의 가정에서 다음의 단위 가중치가 주어진다.

- λ_e (10⁶ \$으로 표시한 비용) = 0.984
- λ_p (피폭 저감량) = 0.001
- λ_{cg} (임계경로 작업시간의 단축) = 0.015

(i) 강 우선 순위



제 1 kernel : A1, C1, H1, E1

제 2 kernel : B1, D1, F1, G1, H2, I1, I2

강 우선 순위는 여러 기준에 대한 가중치를 고려하지 않고 정해진 것으로, 약 우선 순위에서는 가중치를 필요로 하는데 이는 불일치 지수의 계산과정에 포함되어 있다.

(ii) 약 우선 순위

불일치 지수를 계산하면 제 1 Kernel에 대한 다음의 불일치 행렬을 구할 수 있다.

- 제 1 kernel (A1, C1, E1, H1)
- 단위 불일치 행렬은

d_{ij}	A1	C1	E1	H1
A1		0.176	0.166	0.204
B1	0.493		0.323	0.028
E1	0.170	0.094		0.038
H1	1.000	0.507	0.830	

* 여기서 불일치 지수,

$$d_{ij} = \text{Max} \lambda_p(V_p(i) - V_p(j)) \mid ; p \notin C(i, j)$$

λ_p = 기준 p의 가중치

$V_p(i)$ = 기준 p에 관한 대안 i의 값

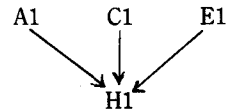
$C(i, j)$ = 일치 집합

단위 행렬을 구하기 위해서는, 불일치 지수를 정규화시켜 " $d_{ij}=i$ 와 j 의 불일치/최대 불일치"로 정의해 준다.

만일 역치 $D=0.05$ 로 하면, 지배 행렬은

h_{ij}	A1	C1	E1	H1
A1		1	1	1
B1	1		1	0
E1	1	1		0
H1	1	1	1	

* 여기서 지배 지수, $h_{ij}=1$, if $d_{ij}>D$



- 제 2 kernel (B1, D2, F1, G1, H2, I1, I2)

단위 불일치 행렬은

D	B1	D1	F1	G1	H2	I1	I2
B1		0	0.005	0.063	0.054	0.048	0.033
D1	0.937		0.861	1.000	0.992	0.985	0.688
F1	0.076	0		0.139	0.130	0.124	0.033
G1	0.033	0.033	0.007		0.012	0.005	0.033
H2	0	0	0	0.008		0	0.033
I1	0	0	0.003	0.015	0.007		0.033
I2	0.266	0	0.174	0.312	0.304	0.298	

만일 역치 $D = 0.05$ 로 하면, 지배 행렬은

D	B1	D1	F1	G1	H2	I1	I2
B1		0	0	1	1	0	0
D1	1		1	1	1	1	1
F1	1	0		1	1	1	0
G1	0	0	0		0	0	0
H2	0	0	0	0		0	0
I1	0	0	0	0	0		0
I2	1	0	1	1	1	1	

위의 결과를 요약하면

제 1 kernel

1) A1-C1-E1

2) H1

제 2 kernel

1) B1-G1-H2-I1

2) F1

3) I2

4) D1

ELECTRE 기법은 다소 정성적인, 다수의 속성을 통합하기 위해 고안되었으므로 방사선 방어의 최적화와 같은 문제에 보다 적합하며, 강 우선 순위는 기준의 상대적 가중치를 정하는 미묘한 문제에 관한 1차적 해를 제시할 수 있다.

(3) 민감도 분석

사용한 모델이나 자료의 불확실성을 고려하기 위하여 민감도 분석이 요구되는데, 본 연구에서의 경우 피폭비용이나 대체전력비용 등의 경제적 변수를 변화시키거나 단위 가중치의 변화에 따른 최종해의 민감도를 계산할 수 있다.

(4) 최적화 연구의 결과

이상의 과정으로 부터 해석해가 얻어지는데, 정성적 인자가 존재하는 경우, 이를 고려해야만 완전해가 될 수 있다. 본 연구에서는 세 가지의 정량적 인자만을 고려하였지만, 대안의 실제 적용시 어려움이나 대안의 신뢰도 등을 정성적으로 고려할 수도 있을 것이다.

(5) 결정에의 도달

Electre 기법의 적용 결과로는 크게 두 대안의 집합으로 주어지고 각 집합내에 다시 소집합들이 존재하는데, 발전소 운영자 등의 결정권자는 도달할 비용, 현실적인 작업여건, 선호도 등의 조건을 고려하여 작업중 방사선 피폭의 저감에 적용할 대안을 선정하게 된다. 본 연구의 결과로는 원자로용기 Head 개폐시 50% MST의 사용, S/G Cover 개폐시 K-B MST의 사용, 핵연료 재장전기의 도입 등이 가장 비용-효율적인 것으로 나타났다.

결 론

본 연구에서는 먼저 방사선 방어의 최적화 필

요성을 ICRP 권고의 변화를 근거로 제시하고, 원자력 발전소의 설계 및 운전 단계에서의 최적화 절차론을 제안하였다. 설계에 있어서 최적화 연구의 필요성은 명백하며, 새로운 시설을 설계하거나 기존의 시설을 개선하는 작업은 매우 복잡한 반복적인 과정으로서 많은 시스템에 관한 변수 및 특성들이 비용 조건과 연관된다. 운전의 경우, 내부의 관리상 주도나 규제 요건 등이 최적화 연구에 대한 자극이 될 수 있는데, 작업 절차의 변경, 보수 요건의 변화, 교육과 훈련, 관리 구조의 변화, 기기와 계측기의 최신화, 설계 변경 등이 대안으로 포함될 수 있다. 의사 결정의 보조 기법으로 사용할 수 있는 최적화 방법론은 다기준 우선순위 기법을 제시하였는데, 이 기법은 정성적인 다수의 속성을 통합하기 위해 고안되었으므로 방사선 방어의 최적화와 같은 문제에 보다 적합하다.

문제의 성격상 개발된 절차론을 직접 적용하기 위해서는 다양한 형태의 Data Base를 확보하는 것이 중요하며, ALARA Program에는 작업 선량의 측정에 의한 자료 확보에서 방법론의 개발 및 적용, 최종적인 의사 결정에 의한 대안 선정에 이르기까지 전과정이 포함되어야 한다. 또한, ALARA Program의 성공적인 추진을 위해서는 일관되게 이 문제에 관여할 수 있고, 그리고 결정권한도 가진 ALARA 관련 Group이나 위원회 등의 조직이 반드시 필요하다. 아울러, 이러한 최적화 절차론은 발전소 이외의 다른 방사성 폐기물 관리나 의학적 방사선의 이용 등과 같은 분야에서도 그 적용에 관한 연구가 필요할 것으로 전망한다.

본 연구는 한국 과학재단 신형원자로 연구센터의 연구비 지원을 받았음을 밝힌다.

참고문헌

1. International Commission on Radiological Protection (ICRP), *Recommendations of the ICRP*, Publication 1, Pergammon Press, Oxford, 1959.
2. ICRP, *Recommendations of the ICRP*, Publication 9, Pergammon Press, Oxford, 1965.
3. ICRP, *Implications of Commission Recommendations That Doses Be Kept As Low as Readily Achievable*, Publication 22, Pergammon Press, Oxford, 1973.
4. ICRP, *Recommendations of the ICRP*, Publication 26, Pergammon Press, Oxford, 1977.
5. ICRP, *Recommendations of the ICRP*, Publication 60, Pergammon Press, Oxford, 1990.
6. ICRP, *Cost-benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection*, Publication 37, Pergammon Press, Oxford and New York, 1982.
7. ICRP, *Optimization and Decision-Making in Radiological Protection*, Publication 55, Pergammon Press, Oxford and New York, 1989.
8. International Atomic Energy Agency (IAEA), *Optimization of Radiation Protection*, IAEA-SM-285/15, 1986.
9. Commission of the European Community (CEC), *Radiation Protection Optimization 'Present Experience and Methods'*, Pergammon Press, 1981.
10. Lobner, P., *Optimization of Public and Occupational Radiation Protection at Nuclear Power Plants*, NUREG/CR-3665, Vol. 1, 1984.
11. Khan, T. A., and Baum, J. W., *Data Base on Dose Reduction Research Projects for Nuclear Power Plants*, NUREG/CR-4409, U. S. NRC, 1989.
12. Commission of the European Community (CEC), *Radiation Protection Optimization 'As Low As Reasonably Achievable'*, EUR 9173, 1984.
13. Commission of the European Community (CEC), *Radiation Protection Optimization 'Advances in Practical Implementation'*, EUR 12 469, 1989.
14. 한국 전력공사, 제2회 방사선 안전관리 Workshop 보문집, 1991.
15. 한국 전력공사, 피폭 저감화 종합관리 방안, 1989.
16. Ocken, H., and Wood, C. J., "Techniques for Controlling Radiation Exposure", *Nuclear News*, February, 1993.

A Study on the Development of Optimization Procedure for Radiological Protection

Jong-Soon Song

Chosun University

ABSTRACT

Considering the variety of application and other factors in performing the optimization of radiological protection, it is necessary to use well-structured optimization procedure. In this study, an optimization procedure for design stage of nuclear power plant was proposed, and applied in the selection of alternatives for reducing occupational radiation exposure. As an aiding technique for decision-making, multi-criteria technique was used. As a result, priorities of alternatives are determined, and a problem of applying this result to real situation is reviewed. The developed procedure for optimization can be extended to other areas such as radioactive waste management, medical use of radiation, etc.

Key Words : Radiological Protection, Optimization Procedure, Optimization Technique, Decision-making