

Study on HLW Management Facility Using System Dynamics Algorithm

Yoonik Kim,^a Dohyoung Kim,^a Sangman Kwak,^a Heui-Joo Choi,^b Jongwon Choi,^b

^a Systemix Co., Ltd., 915 Ho, Character Greenvil, Sindaebang-dong, Dongjak-gu, Seoul, Korea, unique2@snu.ac.kr

^b Korea Atomic Energy Research Institute, Disposal System Development, P.O. Box 105, Yuseong, Daejeon, 305-600, Korea

1. Introduction

우리나라는 현재 19 기의 원전을 가동 중이며, 매일 쓰고 있는 전기의 약 40 %를 원자력발전소에서 담당하고 있다. 이는 설비용량 기준으로 세계 6 위에 해당하는 규모이다. 원전을 운영하면 방사성 폐기물이 발생하고, 이에 따라 동 폐기물을 안전하게 처분할 수 있어야 한다. 특히 HLW(High Level Waste)는 매우 오랫동안 관리하여야 하기 때문에 더욱 중요하다.

현재 우리나라는 HLW를 원전부지 내 임시 저장하고 있으나, 2010 년 이전에 부지들이 포화될 것으로 예상하고 있다. 이에 따라 여러 가지 보완 방안을 강구하여 2016 년까지로 저장용량을 확장하려 하고 있으나 궁극적인 해결책은 아님이 분명하다. 결국 종합적인 HLW 처분 방안을 마련하여야 할 것이다.

이에 따라 본 논문에서는 시스템 다이내믹스 알고리즘을 사용하여 HLW 처분에 관련된 여러 가지 기술적, 사회적 측면의 영향인자들을 고려함으로써 HLW 처분 관리 방안에 따른 영향 관계를 논리적으로 나타내는 모델을 구성하였다.

2. Methods and Results

2.1 System dynamics method

시스템 다이내믹스는 시스템적 사고를 모델링 하는 도구로서, 시스템의 동태성(dynamics)의 원인을 시스템의 피드백(feedback loop)과 시간 지연(time delay)으로 본다. 피드백 구조를 이루는 인과관계 대부분이 선형적이라고 보기보다 비선형적임을 강조하며 이에 대한 모델링을 가능하게 한다.

모델링의 과정은 크게 (1) 논리적 모델링 단계(문제의 규명, Causal loop diagram) 작성, 모델의 개념적 설계), (2) 정량화 모델링 단계(stock and flow diagram)의 작성, 자료수집, 모델의 검증), (3) 모델의 활용 단계(모델 test, 모델의 응용)로 구분할 수 있다.

2.2 HLW disposal plan

HLW 처분은 정책적인 문제와 더불어 기술, 사회적인 문제가 복합되어 있는 복잡한 문제이다. 즉, 처분 방안 추진 주체, 기술적 안전성, 국민

수용성, 처분 시기 등의 문제들이 얽혀 있기 때문에 복잡한 비선형의 사회적 문제에 해당한다.

특히 HLW 처분시설과 같은 일종의 기피시설(비 선호시설)을 성공적으로 추진하기 위해서는 무엇보다도 국민 및 지역주민의 이해와 협조가 필요하나, 많은 수의 국민들은 HLW 처분시설에 대해 정확한 이해 없이 막연한 불안감을 가지고 있는 상황이기에 해결하기가 더욱 어려운 문제이다.

예를 들어, 방사성폐기물 처분시설 건설, 운영 등의 주체의 적합성, 혹은 현재 원자력발전소에서 발생하는 HLW를 중간저장시설에서 몇 년간 저장한 후에 영구처분시설로 옮겨야 적합한지와 같은 여러 가지의 문제가 있으나 어떤 것이 가장 좋은 방법인지는 과학기술 및 사회적인 영향 인자들이 영향을 미치는 복합적이고 동태적인 비선형의 문제에 해당한다. 이에 따라 본 논문에서는 시스템 다이내믹스 기법을 사용하여 이러한 문제를 해결하고자 한다.

2.3 Causal loop diagram

문제가 정의된 다음에는 이를 해결하기 위하여 논리적 모델을 구성한다. 우선 여러 가지 인자, 변수들 사이의 영향 관계를 나타내는 diagram을 작성한다. 이를 CLD(causal loop diagram)라 한다.

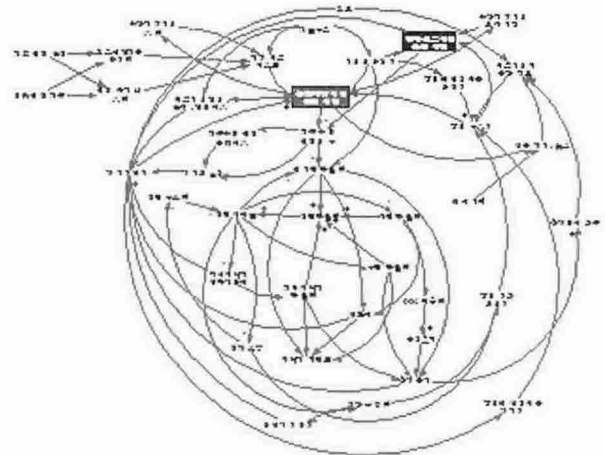


Figure 2. HLW 처분 관리 인과관계지도(CLD).

HLW의 일생을 살펴보면 다음과 같다. 원전 가동에 따라 HLW가 발생하면 일단 원전 부지 내에 임시 저장하고 향후 중간저장시설이 건설되면 이송하게 된다. 이후 영구처분시설 운영이 시작되면 동 시설로 이송하여 그 일생을 마감하게 된다고 볼 수 있다. Figure 1의 CLD에서는 이러한 HLW의 일생과 관련된 HLW 영구처분시설 건설에 영향을 미치는 여러 인자들, 예를 들어 시설의 기술적 안전성, 국민 수용성, 경제적 측면, 원전 부지 내 및 중간저장시설 예상 포화 시기 등의 인과 관계를 보여주고 있다.

Figure 1에서 볼 수 있듯이, 주체, 국민 수용성 등은 영구처분시설 건설과 순환 루프를 형성하고 있으며, 이를 나타낼 수 있다는 점에서 시스템 다이내믹스 기법의 유용성을 확인할 수 있다.

2.4 Stock and flow diagram

정량화 모델링의 첫 번째 단계는 stock and flow diagram을 작성하는 것이다. 모델에 사용되는 변수는 크게 저장(level) 변수, 변화율(rate) 변수, 보조 변수로 구분할 수 있다. 동 단계를 통하여 모델은 더욱 정교해지고 정량화를 위한 각종 데이터가 모델에 들어가게 되는데, 이 때 모델에 들어가는 변수는 통계적 자료(numerical data)뿐만 아니라 인간의 개인적 경험에 근거한 변수(mental data)를 포함하기도 한다.

2.5 Results

본 연구에서는 HLW 처분 방안 중 HLW 발생량과 저장 여유용량, 포화 시기에 대한 예비 계산을 수행하였다. 2015년까지는 현재 전력수급 계획에 따르고 그 이후에는 원자력발전소를 더 이상 건설하지 않는 것으로 보수적으로 가정하여 계산하였다. 그리고 원전 부지 포화 이전에 중간저장시설 운영이 개시되어야 한다는 개념으로 2014년에 중간저장시설 운영이 시작된다고 가정하였다.

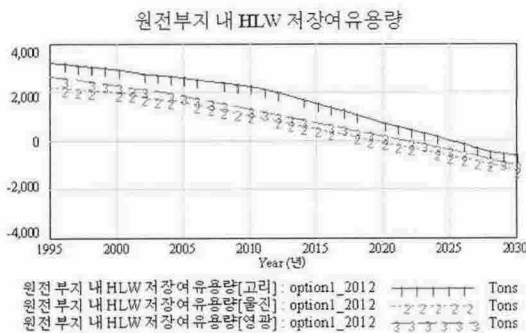


Figure 3. 원전부지 내 HLW 저장여유용량.

계산 결과, 원전 부지 내 HLW 저장여유용량과 중간저장시설 누적량을 각각 Figure 2, 3에 나타내었다. Figure 2에서는 여유 용량이 0이 되는 시점이 원전 부지 내 저장시설 포화 시기이며, Figure 3에서는 중간저장시설 내 HLW 누적량이 20,000 tons(= 중간저장시설 최종 용량 계획)일 때가 포화시점에 해당한다.

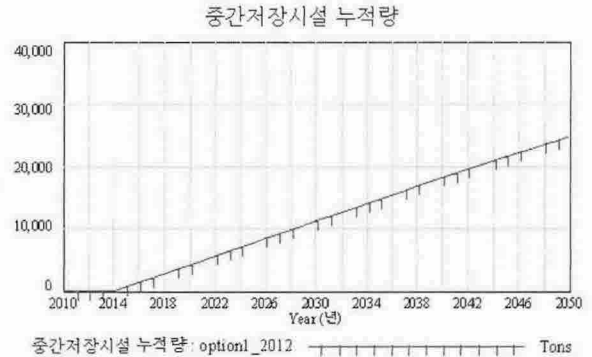


Figure 4. 중간저장시설 HLW 누적량.

3. Conclusion and Future Works

HLW 처분시설 건설에 관한 과학기술 및 사회적인 문제의 구조를 이해하기 위한 논리적 모델을 구성하였다. 여기에는 HLW가 발생, 임시 저장, 중간 저장, 영구 처분의 life cycle을 거침에 있어 관련되는 여러 가지 정책적, 기술적, 사회적 인자들의 관계가 포함되어 있다. 특히 사업 진행 및 운영 주체, 국민 수용성 등의 영향 관계를 일부 포함시켰으며, 국민 수용성이 영구처분 시설 건설과 순환관계를 형성함을 모델링 하였다. 본 모델에 따라 계산을 수행하여 원전부지 내 HLW 포화 시기와 중간저장시설 포화 시기를 제시하였다.

국민 수용성과 주체 등 그 밖의 계산 결과도 도출하였으나, 정량화 수식과 입력 자료 등의 객관성, 정확성 등을 보완하여야 하는 단계이므로 제시하지는 않았다. 그러나 서로의 영향관계, 피드백 루프 등을 포함하는 논리 모델만으로도 상당한 성과라 할 수 있을 것이다. 향후 전문가 의견 수렴, 설문 조사 등을 수행하고 추가적인 연구를 통하여 영향 관계 및 정량화 수식을 보완할 예정이다. 또한, 여러 가지 시나리오에 대하여 모사하여 복잡한 상황을 예측할 수 있고, 이는 관련 정책 결정 시에도 의미 있는 참조 자료가 될 것이다.

4. Acknowledgement

본 연구는 원자력중장기 기금으로 수행되었습니다.