

## 원자력안전 지역사무소 설치 타당성 평가 : 시스템 다이내믹스 접근법

김성호<sup>a,b</sup>, 송인진<sup>a</sup>, 최영성<sup>a</sup>

<sup>a</sup>한국원자력안전기술원, <sup>b</sup>(주)시스템미아지앤이

### A Study on the Establishment of Korean Regional Nuclear Safety Offices

Seong Ho KIM\*, I.J. SONG, Y.S. CHOI

Korea Institute of Nuclear Safety (\*Corresponding author: shghyym@empal.com)

#### 초 록

우리나라에서 원자력 시설의 안전 확보를 위한 **현장 규제**는 원전 부지내에 설치되어 운용되고 있는 **주재관실**과 방사능 재난 발생에 대응하기 위한 **현장방사능방재지휘센터** 등으로 분산되어 있다. 원유 고유가, 에너지 안보, 및 기후 변화 협약 등에 대한 대응책으로, 신규 원자력 시설의 건설이 진행 중에 있으며, 이에 따라 원자력 규제 대상이 증가하고 있다. 지역주민이 신뢰하는 원자력 시설의 안전 규제의 필요성에 따라 현장 규제의 업무량도 증가하고 현장 규제 요건도 강화되고 있는 추세이다.

분산되어 있는 원자력 안전규제 시스템을 통합적인 체계로 전환하기 위한 방안들 가운데, 이 연구에서는 규제의 효율성/효과성을 향상시키기 위해 원자력 안전 **지역사무소**의 설치가 고려되었다. 이 연구의 주요 목적은 시스템 다이내믹스 기법을 활용한 지역사무소 설치의 타당성 모델을 제시하는 것이다. 이 SD 모델을 통해 지역사무소 설치가 규제 효과성을 포함한 다른 변수들에 미치는 영향을 전체론적 (holistic) 관점에서 평가할 수 있다.

이 SD 모델에서 이해관계자 (예: 중앙행정기관, 규제기관, 지방자치단체, NGO, 국민 등) 각각의 우선적인 목표는 갈등적 다중목표가 된다. 이러한 다중목표는 원자력 안전 규제의 의사결정 단계에서 **거버넌스**(governance) 체제 (예: 규제 기관, 사업자, 지역주민 등이 참여하는 체제)의 구축, 원자력 관련 민원 해결을 통해 성취될 수 있다.

시스템 다이내믹스 접근법의 주요 변수 정의 단계에서는 다양한 관점의 상호영향을 고려하면서 지역사무소 설치에 필요한 기본 개념이 도출되었다. 시스템 다이내믹스 접근법의 모델링 단계에서는 이들 기본 개념에서부터 지역사무소 설치 타당성 정책의 **인과 지도**(causal map)가 작성되었다. 이러한 인과 지도들로부터 지역사무소의 설치 타당성으로 이끄는 다양한 자기-강화 (self-reinforcing) 루프들이 발견되었다.

**주제어:** 시스템 다이내믹스, 시스템 사고, 인과지도, 현장규제, 지역사무소, 거버넌스 체제

## 1. 서론

요즈음 우리나라에서는 원유가의 고공행진, 에너지 안보 위협, 및 교토의정서에 따른 온실가스 배출량 감축 의무 등의 대응책으로, 신규 원자력 발전소의 건설이 진행 중이거나 계획 중이다. 이와 함께, 중저준위 방사성 폐기물 처분장이 건설 중에 있다. 이에 따라 원자력 시설과 관련된 안전규제 대상의 규모가 증가하고 있는 추세이다. 이러한 추세에 대응하기 위하여 원자력 시설 주변에 거주하고 있는 지역주민의 입장에서는 원자력 시설의 안전 규제 신뢰성 향상, 규제 전문 기관의 입장에서는 현장규제의 업무량 증가 해소 및 현장규제 요건의 엄격성 강화 등의 대책 마련이 시급해지고 있다.

구체적인 예로, 현재 경주 지역에는 건설 중인 방사성 폐기물 처분 시설, 운영 중인 중수로 원자력 발전소 4기, 계획 중인 경수로 원전 4기 (예: 신월성 1-4호기), 지역 공약 사업으로 계획 중인 양성자 가속기 등 다양한 원자력 시설의 복합단지가 형성되고 있다. 또한 한국수력원자력의 본사가 경주시로 이전될 예정이므로 경주 지역은 향후 원자력 이용의 중심이 될 전망이다. 따라서 여타 원전 지역에 비해 이곳의 지역주민은 원자력 안전에 더욱 지대한 관심을 보이고 있다. 이러한 상황 변화에 대처하면서 시설 안전성 및 지역주민 안심시키기 등을 확보하기 위하여 규제 대상 시설이 위치하고 있는 현장에 원자력안전 지역사무소를 설립하는 정책이 연구되어 왔다 [KINS 2004; KINS 2008].

경주 지역에는 현장규제와 관련하여 현장사무소 역할을 하는 월성원전 부지내 주재관실에 교육과학기술부(MEST) 주재관 3명, 한국원자력안전기술원(KINS) 파견 직원 3명이 규제관련 업무를 수행하고 있다. 구체적으로는, 원전 운영 중의 일상 검사와 QA 감사는 주재관실에 의해 현장에서 수행되고 있으며, 정기 검사는 KINS에서 출장으로 파견나온 검사팀에 의해 수행되고 있다. 사건 발생시에는 KINS에서 파견되는 조사팀이 현장 조사를 맡도록 되어 있다. 이와 별도로 월성 지역 현장방사능방재지휘센터가 설립되어 운영 중이다. 이 센터에는 MEST에서 2명, KINS에서 1명이 파견 근무 중이다 [KINS 2008].

규제 전문 기관 입장에서 볼 때, 현행 현장규제 시스템에서 드러날 수 있는 문제점은 다음과 같다: (1) 수년 내에 경주 지역에서는 현행의 원자력안전 규제 인프라 용량(capacity)으로는 감당할 수 없을 정도로 원자력 시설 규모 증가가 예상된다; (2) 업무 효율성 측면에서 볼 때, 현장에서 일상 검사와 정기 검사의 연계성이 강화되어야 한다; (3) 인력 운영 측면에서 볼 때, 현장방사능지휘센터와 주재관실로 인력이 분산되어 있는 현실은 개선되어야 한다; (4) KINS 검사팀의 출장 인력으로 수행되고 있는 현행의 정기 검사는 앞으로 8기로 늘어날 원전을 다루기 위해서 더욱 더 효율적인 방식으로 개선되어야 한다; (5) 시설의 안전성 안심 측면에서 볼 때, 지속적으로 증가할 지역주민의 안전 의식과 안전 요구 민원사항은 현장에서 즉각적으로 해결되어야 한다.

현행 현장규제 시스템에서 비롯되는 이러한 문제점을 보완하는 방안으로 경주 지역에 NRC의 지역사무소 시스템을 도입하는 정책으로, 규제 전문 기관은 규제 신뢰도를 제고할 수 있다. 중앙정부의 입장에서도 이러한 방안을 통해 현장에서 직접 원자력 시설의 안전성을 관리하려는 의지를 표명하면서, 대국민 신뢰성을 증진하고 지역주민과의 의사소통 활성

화 및 주민참여를 통한 거버넌스 체제의 구축을 촉진할 수 있다.

이 연구의 주요 목적은 인과 지도 기법을 적용하여 지역사무소 설치 정책의 타당성을 시스템 사고에 바탕을 두고 여러 측면에서 검토하여 설치 정책의 구조를 파악하는 것이다.

**현장규제와 지역사무소:** 원자력 시설의 안전규제는 일반적으로 본부-중심 규제 및 현장-중심 규제로 구성되어 있다. 현장규제 업무는 지역사무소 (Regional Offices; RO) 및/또는 현장사무소 (Site Offices; SO; 또는 현장주재소)에서 수행되고 있다. RO 및 SO가 모두 있는 경우에는 각각 그 업무가 분담되어 있다. 이들의 관계는 Fig.1에 제시되고 있다.

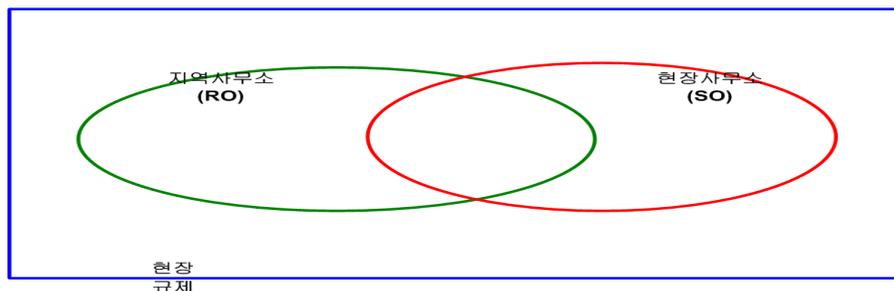


Fig.1 : 현장규제, 지역사무소, 현장사무소 등의 관계성

현장규제 사례를 살펴보자. 우리나라에는 SO만이 있으며 이 SO에서 현장규제 업무를 수행하고 있다. 또한 우리나라 현행 제도에서는 안전규제와 별도로 방사능 방재와 관련된 지역사무소 (즉, 현장방사능방재지휘센터)가 운영되고 있으며, 부지별로 관할 지역사무소가 건설 중인 곳도 있다. 미국에서는 RO뿐만 아니라 SO인 현장 주재관 제도가 병행되고 있다. RO는 4곳에 위치하는 반면에 SO는 모든 원전 부지 내에 위치하고 있다. 캐나다에서는 RO가 핵물질, 운송, 방사선/핵물질 장치 등의 승낙 업무를 맡고 있으며, 핵물질-관련 사건에 대응도 하고 있다 [KINS 2008].

## 2. 방법론 : 시스템 사고 접근법

일반적으로 목표, 구성요소(component), 상호작용 등을 특성으로 갖추고 있는 시스템을 다루는 방법론으로 여러 가지가 있을 수 있다. 그 중에는 시스템을 구성하고 있는 구성요소에 중점을 둔 분석적 사고(analytic thinking) 접근법과 상호작용에 중점을 둔 **시스템 사고** (systems thinking) 접근법이 있다. 시스템 구조나 행태 평가와 관련하여 분석적 사고 접근법은 전체를 부분으로 분해하는 환원주의(reductionism)에 바탕을 두고 있는 반면에, 시스템 사고 접근법은 부분 보다는 전체를 보려는 **전체론**(holism)에 바탕을 두고 있다. 전자의 한 예로 구성요소 간에 존재하는 상호의존성 대신, 상호독립성을 가정하는 해석적 계층 과정 (Analytic Hierarchy Process; AHP) 기법이 있고, 후자의 예로 시스템 사고를 사용하는 인과 지도(causal map) 기법과 시스템 다이내믹스(System Dynamics; SD) 기법이 있다. 인과 지도 기법은 소프트 SD 기법이라고도 불린다.

**시스템 사고**는 다음과 같은 세 가지 특성을 모두 지니고 있다 [김상욱 2008]: 1) 전체론적 사고; 2) 피드백 사고; 3) 시간적 사고 등. 전체론적 사고란 구성요소 사이의 상관 관계 대신에 인과 관계에 중점을 두는 접근법이다. 피드백 사고란 시스템 행태(즉, 현상) 그 자체

보다는 이러한 행태를 기저에서 결정하는 구성요소간 상호작용 메커니즘 (즉, 시스템의 구조) 인식에 중점을 두는 접근법이다. 시간적 사고란 행태의 변화를 누적량과 같은 적분의 시각에서 보는 정태적인 접근 대신에, 단위시간 당 변화율과 같은 미분의 시각에서 보는 동태적인 접근법을 의미한다.

인과 지도는 보통 다음과 같은 세 가지 요소로 구성되어 있다: 1) **방향 간선**(directed edge); 2) **방향 간선의 방향성**; 3) **피드백 루프**(feedback loop) [박제석 2004].

방향간선 (즉, 화살표)은 변수와 변수 간의 정보 흐름이나 물질 흐름의 방향성을 나타낸다. 화살표의 기점에 있는 정점(node), 즉 변수는 영향을 주는 원인 변수가 되고, 종점에 있는 변수는 영향을 받는 결과 변수가 된다. 그러므로 방향간선은 두 변수 사이의 인과 관계를 뜻한다. 방향간선의 방향성이란 화살표와 함께 표시되는 + 부호 (또는 s 문자) 및 - 부호 (또는 o 문자)를 말한다. 이러한 부호(또는 문자)는 인과 관계의 방향성을 뜻한다. 예컨대, + 부호는 간선의 양끝에 있는 두 변수가 같은 방향으로 변화하는 것을, - 부호는 간선의 양끝에 있는 두 변수가 다른 방향으로 변화하는 것을 의미한다. 피드백 루프란 인접한 두 개 이상의 노드 사이에 하나의 폐쇄된 사이클(cycle)이 형성되는 구조를 말한다.

이러한 인과 지도 기법을 통해 대상 정책의 구조를 파악할 수 있고, 정책 지렛대가 되는 정책 변수를 발견할 수 있다. 여기에서 **정책 지렛대**란 조그마한 노력을 투입하여 커다란 결과를 산출할 수 있는 정책 개입 지점을 의미한다.

### 3. 시스템 사고와 원자력안전 지역사무소의 설치 타당성

원자력안전 지역사무소의 설치 여부가 직접적 또는 간접적으로 영향을 주는 이해관계자는 중앙정부, 규제 전문기관, 사업자, 지방자치단체, 지역주민, NGO, 언론 매체 등을 들 수 있다. 그러나 여기서는 핵심 행위자(actors; players)로 중앙정부에 속한 행정기관, 규제 전문기관, 사업자, 지역주민 등이 고려되었다.

지역사무소 설치 타당성 모델링에서 이러한 이해관계자의 우선적인 목표는 다음과 같다: (1) 중앙정부의 관점에서 볼 때, 주요 목표는 특별지방행정기관 (예: 지역사무소)의 설치와 관련된 일반적인 행정원칙 준수에 있다; (2) 규제 전문 기관의 관점에서는, 현장규제의 효율성/효과성 향상, 안전규제에 대한 신뢰성 제고를 우선적으로 생각해 볼 수 있다. 구체적으로 아래와 같은 전략을 이행할 수 있는 통합형 지역사무소를 통해 만족될 수 있다: 안전규제 수요 증대의 대처, 현장규제의 엄격성 강화, 분산형 규제체계의 통합화, 또는 업무 범위에 RI 규제 포함 등; (3) 사업자나 지역주민의 관점에서 볼 때, 지역사무소 설치에 따른 안전성 제고가 주요 목표가 될 수 있다. 이는 원자력 안전규제 의사결정 과정에서 공동 참여를 통한 거버넌스 체제의 구축, 원자력 관련 민원 해결, 또는 안전규제 업무를 본부에서부터 지역사무소로 위임하거나 민간으로 위탁하는 것을 통해 달성이 촉진될 수 있다.

이러한 기본 개념 및 다양한 이해관계자 사이의 상호영향은 Fig.2에 나타나 있다. 지역사무소 설치 모델링에서 고려될 수 있는 다양한 변수의 상승적인 상호작용을 통하여 원자력 시설에서 안전규제 거버넌스 체제의 확보 수준이 향상될 수 있다.



Fig.2 : 지역사무소 설치 모델링에서 주요 변수간의 상호영향

지역사무소 설치 타당성 검증과 관련하여, 이들 변수 사이의 상호영향을 표현하는 인과지도가 시스템 다이내믹스 기법을 통해 작성되었다. 이 연구에서는 지역사무소 정책과 유사한 인터넷 활용의 인과지도[하원규 2000]의 구조가 반영되었다. Fig.3에는 기본 인과지도가 제시되어 있다. 이 인과지도에서 발견된 지역사무소 설치 타당성과 관련된 피드백 메커니즘의 기본 구조는 다음과 같다: (1) 행정원칙에 따른 지역사무소 규제 인프라 용량(capacity)의 영향으로 지역사무소 설치 타당성에서 자기-억제적인 루프; (2) 현장규제의 효율성/효과성과 관련된 지역사무소 설치에서 긍정적인 피드백 루프; (3) 대국민 신뢰성과 관련된 지역사무소 설치에서 긍정적인 루프; (4) 통합적 관점에서 볼 때, 원자력 안전규제의 거버넌스 체제와 관련된 지역사무소 설치 타당성에서 긍정적인 루프. 이외에도 지역사무소의 설치 타당성으로 이끄는 다양한 긍정적인 루프들의 존재가 파악될 수 있다.

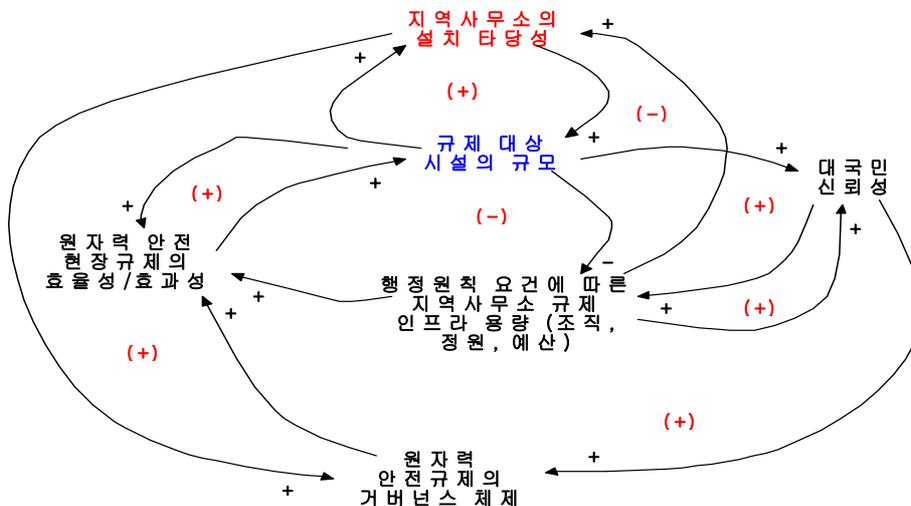


Fig.3 : 지역사무소 설치 타당성 모델링의 기본 인과지도

지역사무소가 도입되는 경우, 지역사무소 유용성과 관련하여 변수 사이의 상호영향을 나타내는 인과지도가 작성되었다. Fig.4에는 확장 인과지도가 제시되어 있다. 이러한 인과지도에서 다음과 같은 구조적 메커니즘이 발견되었다: (1) 행정원칙 요건에 의해 제한되는 지역사무소의 규제 인프라 용량과 관련하여 지역사무소 유용성에서 자기-억제적인 루프; (2) 현장규제의 효율성/효과성과 관련된 지역사무소 유용성에서 자기-강화적인 루프; (3) 지역사무소의 존재가치/대국민 기여도와 관련된 지역사무소 유용성에서 긍정적인 루프; (4) 통합적

관점에서 볼 때, 원자력 안전규제의 거버넌스 체제와 관련된 지역사무소 유용성에서 긍정적인 루프. 이외에도 지역사무소 유용성 강화로 이끄는 다양한 긍정적인 루프들 (예: 현장규제 활용 역량 루프)의 존재가 파악될 수 있다.

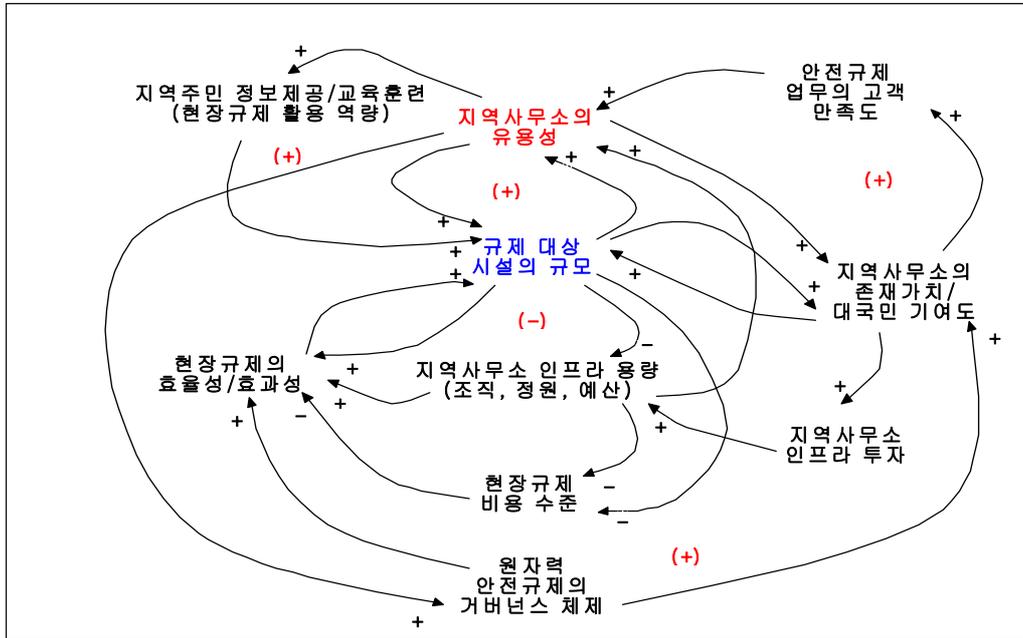


Fig.4 : 지역사무소 유용성 모델링의 확장 인과지도

#### 4. 결론

여기서는 원자력 시설의 현장규제 지역사무소 설치 정책의 타당성을 검토하기 위해 시스템 사고 접근법의 하나인 정성적 시스템 다이내믹스에 바탕을 둔 인과지도 기법이 적용되었다. 제안된 기본 인과지도 및 확장 인과지도에서 지역사무소 설치의 타당성을 자기-강화적으로 이끄는 다양한 구조적 메커니즘들이 발견되었다. 반면에 지역사무소 규제 인프라 용량의 관점에서는 지역사무소 설치의 타당성을 자기-억제적으로 만드는 구조가 발견되었다.

향후 연구 방향과 관련하여, 이해관계자 각각의 관점에서의 인과지도 작성이 요구되며, 정량적 SD-기반 시뮬레이션을 통한 지역사무소 설치 정책 대안의 영향 평가가 수행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. KINS (2008.3): 원자력안전 지역사무소 설치 타당성에 관한 연구, 기술보고서, 초안, 한국원자력안전기술원.
2. KINS (2004.2): 원전 현장규제 활성화 방안 연구 - 현장규제사무소 설치·운영 -, 기술 보고서, KINS/RR-230, 한국원자력안전기술원.
3. 하원규, 최남희, 홍민기, 문태훈 (2000): 정부, 기업, 가정의 인터넷 활용에 대한 동태적 접근: 설문조사를 이용한 정책인과지도 도출을 중심으로, 2000 Proceedings of the Korean System Dynamics Society, pp.1-27.
4. 박제석 (2004): 정보통신정책의 인과지도 분석, 한국시스템다이내믹스학회, 2004년 하계 학술 대회 발표 논문집, pp.109-128.
5. 김상욱 (2008.3): 시스템 다이내믹스 이해, 가상군 모의 기술 세미나, 공군회관, 서울, 2008년 3월 18일.