

규제 기준치와 Conservatism의 관계

장승철[†] · 김길유

한국원자력연구소

(1999. 10. 26. 접수 / 2000. 2. 1. 채택)

Relationship between Regulatory Default Values and Conservatism

Seung-Cheol Jang[†] · Kil-Yoo Kim

Korea Atomic Energy Research Institute

(Received October 26, 1999 / Accepted February 1, 2000)

Abstract : Regulators often specify default values that are considered acceptable for use in risk analyses as input to regulatory decisions. Because both performing and validating a detailed risk analysis of a complex system are costly and time-consuming undertakings, the use of default values can greatly facilitate the process of performing a risk analysis in the first place as well as the process of reviewing and verifying the risk analysis. It may also ensure more uniform in quality of risk analyses. However, different regulatory agencies differ in their approaches to the use of default values, and the implications of these differences are not yet widely understood. Moreover, large heterogeneity among licensees makes it difficult to set suitable defaults. This paper focuses on the effect of default values on estimates of risk. Some insights on the effects of different levels of conservatism in setting defaults will be provided. The results can help decision makers evaluate the levels of safety likely to result from their regulatory policies.

1. 서 론

전세계의 많은 국가들은 위험물질에 대한 규제정책의 결정을 위해 위험도분석 (risk analysis) 방법을 널리 사용하고 있다. 위험도분석은 공중의 건강과 안전에 대한 위험요소들을 선정하고 그 위험요소들의 발생확률 및 발생 시 입게 될 손실의 심각성을 추정하는 것으로서 정량적 평가가 가능하다. 정량적 위험도평가는 산업안전 재해, 위험물질의 이송, 화학적 독성물질, 사고발생확률이 매우 낮지만 만약의 사고 발생시 대규모 손실을 초래하는 기술 분야 (e.g., 원자력발전소) 등에 널리 적용되어 왔었다.

확률론적 안전성평가 (PSA; probabilistic safety assessment)는 파이프, 펌프, 밸브, 제어장비, 운전원과 같이 시스템 구성요소들에 대해 경험자료와 설계 및 성능특성을 종합한 전반적인 정량적

위험도평가 방법으로 다른 어떤 분석기법에 비해 원자력발전소와 같이 복잡한 시스템의 분석에 적당하다는 인식들이 60년대 후반부터 확산되면서 전반적인 위험도 평가, 규제에 대한 의사결정이나 인허가 지원, 안전성 향상 등의 용도로 이용되기 시작했다^{1,2)}. 이는 PSA가 독성물질, 원자력발전소와 같은 규제대상의 위험도에 대해 비교 가능한 자료들을 제공함으로써 규제정책결정을 돕기 위한 목적과 안전성 향상을 위한 산업체 내부의 의사결정을 지원할 목적으로 사용되어 왔음을 의미한다. 최근 PSA는 다양한 공학분야 (e.g., 복잡한 화학공정분야)로 확대되고 있을 뿐 아니라 여러 가지 이유로 제한되어 사용되어왔던 규제분야로의 적용도 활발한 증가 추세에 있다.

PSA를 포함한 위험도 분석 결과들이 규제부분에 많이 활용되기 위해서는 분석결과에 대한 규제하는 측(규제자)의 검토과정이 용이하여야 한다. 그러나, 일반적으로 고품질의 PSA를 수행하는 것이 매우 많은 비용과 시간을 요하는 일

[†] To whom correspondence should be addressed.
scgang@kaeri.re.kr

이고 또한 규제자가 이들의 결과들을 검토하는 일 또한 PSA 분석을 수행하는 일에 못지 않게 힘들고 어려운 일이다. 이를 위해 규제기관에서는 위험도에 대한 인증된 기준치 (default value)^{3,4,5)} - 부품 고장률, 위험에 대한 노출시간 등과 같이 위험도와 관련한 파라미터, 모델의 선택, 가정사항 등을 포함 - 를 제시하여 왔었다. 인증된 기준치의 사용은 기본적으로 규제를 받는 측 (사업자)의 위험도분석 수행과정이나 규제자의 검토 과정을 매우 용이하게 할 뿐 아니라, 사업자의 특별한 전문지식이나 분석 능력에 크게 구애됨이 없이 비교적 일정한 수준 이상의 PSA를 보장할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 규제기관들마다 기준치의 선정에 관한 접근방법들은 매우 다르며, 이러한 차이점들에 대한 이해가 부족한 실정이다. 또한, 이러한 기준치들이 얼마나 보수적으로 결정되어야 바람직한 것인지는 최근까지 논란의 대상이 되고 있다⁶⁾.

본 연구는 규제기준치의 보수성 (conservatism)에 대한 어떤 입장을 취하기 위한 것이 아니라 설정된 기준치가 갖는 의미, 즉 기준치와 보수성과의 관계에 대해 간단한 수학적 모델을 제안함으로써 규제자가 원하는 수준의 보수성을 기대할 수 있는 기준치 설정방법을 제시하고자 한다. 이는 기준치들을 사용한 위험도 분석결과를 통하여 요구될 규제 인센티브에 대해 규제자의 일관성 있는 의사결정을 위한 기술적 배경을 제공하게 될 뿐 아니라, 나아가 의사결정자가 결정해야 할 특정 규제정책의 효과를 파악하는데도 많은 도움을 줄 것이다.

2. 규제기관의 기준치 사용 현황

원자력 발전소와 같이 복잡한 시스템에 대한 상세한 위험도분석을 수행하거나 검증하는 일은 매우 많은 시간과 비용이 요구된다. 또한, 규제 관련 의사결정에서 위험도분석 결과들을 이용하기 위해서는 고품질의 검증된 분석 결과가 이루어져야 하지만, 일반적으로 위험도분석 모델의 가정사항들이나 불확실하고 주관성의 개입 가능성이 큰 변량 (quantity)에 대해 공식적으로 인정된 기준치를 사용하는 것은 이러한 어려움을 덜게 해준다.

그러나, 규제기관들마다 기준치 선정의 문제에 대한 접근방식이 매우 다르며, 이러한 차이점

들이 무엇을 의미하는 것인지도 아직 잘 이해하고 있지 못한 실정이다. 미국의 대표적인 규제기관인 EPA (Environmental Protection Agency)와 NRC (Nuclear Regulatory Commission)로부터 이와 같은 기준치에 대한 접근방식의 차이점을 쉽게 예시할 수 있다.

EPA는 일반적으로 기준치들을 보수적으로 설정하고 있다⁶⁾. 예를 들면, Superfund 프로그램을 위한 EPA의 위험도 평가 지침서⁷⁾에서 다양한 관심의 변량들에 대한 기준치들은 “95th 백분값 (percentile)”, “상한값 (upper-bound)”, “적정 극한값 (reasonable worst case)” 등으로 설정하고 있다. 더욱이, 흡입률 (intake rate), 노출 빈도, 노출 시간 등과 같은 인자들이 위험도를 추정하는데 있어서 일반적으로 함께 곱해져서 사용되므로 기준치들의 보수성은 중첩되어 결과에 영향을 미친다. 이러한 보수적인 기준치들의 중첩 효과는 실제 위험도의 95th 백분값보다도 매우 큰 위험도의 추정치를 산출하게 한다⁸⁾. 이와 같이 EPA의 보수성에 대한 많은 예제들은 문헌을 통해 쉽게 발견할 수 있다⁸⁻¹⁰⁾. 이러한 보수적인 기준치들의 사용은 안전성을 보장해 줄 수는 있지만, 확실히 경제적으로 효율적인 규제결과를 기대하기는 어렵다. Nichols and Zeckhauser¹¹⁾는 보수적인 기준치 사용의 문제점을 위험도 감소를 위해 책정된 예산들이 잘못 평가된 결과에 따라 효율적으로 배분될 수 없기 때문이라고 강조한다. 보수적인 기준치 설정은 부분적으로 사업자로 하여금 보다 정확한 정보에 입각한 위험도평가를 유도하려는 의도를 가지고 있으며, 실제로 사업자들은 매우 보수적인 기준치나 가정사항들을 사용해야 하는 상황에서는 일반적으로 현실에 맞는 위험도를 추정하기 위해 물적, 인적 자원을 투입하게 된다. 그러나, 책임문제 등의 이유로 규제자들은 공인된 기준치로부터 벗어난 분석결과들을 거의 인정하는 예가 없다¹⁰⁾.

이와 대조적으로 NRC의 경우는 매우 다르다. NRC의 경우 기준치들은 위험도 실추정치 (realistic risk estimate)를 얻기 위하여 일반적으로 원자력 산업체 전체의 평균값이나 그에 가까운 값으로 설정되어져 왔었다. 문제는 위험도 분석에서 불확실성과 주관적인 판단이 많다는 점이며, 사업자는 위험도분석과정에서 “deliberate bias or abuse”¹²⁾를 의도적으로 사용하지 않는다 하더라도 위험

도와 관련된 파라미터 추정 또는 분석모델의 선정시 받아들일 수 있는 가청의 범위 내에서 가장 바람직한 결과를 얻는 방향으로 유도할 수 있는 공학적 판단의 여지를 충분히 가지고 있다. 이는 사업자들이 자신들의 원전 설비들이 평균에 비해 그리 좋은 편이 아닌 것으로 생각될 때 공인된 기준치들을 선택적으로 사용하고, 자신들의 발전소 성능이 평균 이상일 것이라고 판단될 경우 발전소 고유자료 (plant-specific data)를 사용하게 될 위험성이 항상 뒤따를 수 있음을 의미한다. 예를 들어, A라는 원전에서 상대적으로 신뢰도가 낮은 디젤 발전기에 대해서는 고장률 자료로서 공인된 기준치를 사용하고, 상대적으로 매우 신뢰도가 높은 펌프들과 밸브들에 대해서는 발전소 고유 신뢰도 자료를 수집하여 사용한다면, PSA의 전반적인 결과들은 위험도를 과소평가하게 될 것이다. 그러나, 규제자가 이러한 비보수성 (non-conservatism)을 찾아낼 수 있는 미케니즘을 가지고 있다면, 그러한 발전소 고유자료의 선택적 사용은 규제자의 검토과정에서 드러나게 될 것이고, 이로 인해 보다 큰 불이익을 초래할 수도 있다. 보다 중요한 문제는 전반적인 위험도가 가장 높은 발전소들이 자신들의 PSA에서 평균에 가깝게 설정된 기준치나 기준 가정사항들을 대개 사용하게 될 가능성이다. 이는 자신들의 발전소 성능이 산업체의 평균에 미치지 않는다는 것을 알고 있다하더라도, 원하지 않는 규제 간섭이나 추가적인 비용을 피하고 항상 자신들의 좋은 면만을 보여주기 위하여 전략적으로 기준치의 선택적 사용을 예상할 수 있기 때문이다. 기준치들이 모집단의 평균에 가깝게 설정되어 있을 때 위험도를 과소 평가하는 발전소 대부분은 규제자가 관심을 가질 수밖에 없는 위험도가 높은 발전소들임을 암시한다고 하겠다.

지금까지 예시한 바와 같이 EPA와 NRC와 같은 대표적인 규제기관에서도 규제기준치의 설정 기준이 다르고 이러한 차이점이 무엇을 의미하는지에 대한 이해가 부족한 실정이다. 그러므로, 규제기준치의 보수성이 결과에 미치는 영향을 파악하기 위한 수단이 절실히 필요하며, 이를 위한 수리적인 모델과 측도를 다음 절에서 제시하고자 하였다. 이것은 의사결정자가 특정 규제 정책을 결정할 때 기대할 수 있는 안전성의 수준을 평가하는데, 즉 결정할 규제정책의 효과를 파

악하는데 도움을 줄 것이다.

3. 기준치의 보수성에 대한 영향평가모델

3.1. 수학적 모델

기준치들을 어떻게 선정할 것인가의 문제는 규제를 받는 측 (사업자, 또는 위험도 분석을 수행하는 자)의 행동에 대한 설득력 있는 모델들을 이용하면 간단하면서도 의미있는 수학적 분석이 가능한 토픽이다. 먼저 X 는 실제의 파라미터 값들이나 가정사항들을 사용하여 수행된 위험도 분석으로부터 얻어진 위험도 (또는, 부품고장률과 같이 어떤 위험도와 관련된 파라미터)의 추정치라고 하자. 이러한 추정치는 불확실성을 내포하므로 모집단에 속해있는 사업자들의 X 에 대한 변동 (variability)은 확률분포, $f_X(x)$ 에 의해 나타낼 수 있다고 가정한다. 또한 D 는 X 가 대상으로 하는 동일한 변량에 대해 설정된 기준치라고 하자. 즉, 모집단에 속해 있는 어떤 사업자가 실질적인 분석을 통하여 얻게되는 X 보다 기준치의 사용을 결정하였다면, X 의 값을 무시하고 사업자에 의해 동일한 값으로서 D 를 위험도분석에서 사용하게 될 것이다. 여기서, 사업자들은 자신들의 X 값에 대해 완전한 지식을 가지고 있다고 가정하면 (e.g., 사업자가 이미 실질적인 위험도 분석을 수행하고 결과를 규제자에게 제출할 것인지 아닌지를 결정하려고 하는 경우), 사업자에 의해 규제자에게 제출되어 질 위험도 추정치 Y 는 다음의 식 (1)과 같이 정의될 수 있을 것이다.

$$Y = \min(X, D) = X \wedge D \quad (1)$$

식 (1)은 사업자들이 자신의 위험도분석에서 항상 유리한 방향으로 위험도 실추정치와 기준치 중 하나를 선택적으로 사용함을 의미한다. 다시 말해서, 실질적인 위험도 추정치의 사용이 공인된 기준치의 사용보다 바람직하다고 생각될 경우 규제자에게 제출될 분석결과를 위해 실추정치를 사용하고, 반대로 공인된 기준치의 사용이 보다 바람직할 경우 이를 이용하는 것을 말한다.

이러한 가정 하에서 공인된 기준치의 설정 효

과를 파악하기 위하여 X와 Y의 비에 대한 기대값, $E(Y/X)$ 을 하나의 척도로 정의한다. 편의상 Y/X 를 T 라고 한다면, T 의 기대값은 다음과 같이 해석적인 결과로 얻을 수 있다.

$$E(T) = \int_0^1 \frac{D}{t} f_X\left(\frac{D}{t}\right) dt + F_X(D) \quad (2)$$

또는

$$E(T) = \int_D^\infty \frac{D}{t} f_X(t) dt + F_X(D) \quad (3)$$

여기서, $F_X(x)$ 은 X의 누적분포함수이며, T 의 기대값이 갖는 의미는 사업자의 행동에 대해 위에서 기술한 가정 하에서 사업자가 규제자에게 제출하는 위험도 추정치는 설정된 기준치에 따라 실제보다 평균적으로 $(1.0 - E(T)) \times 100\%$ 과소평가된 것임을 의미한다. 이 모델은 사업자가 완벽한 지식을 가지고 자신에게 유리한 방향으로만 기준치를 사용하는 것으로 가정하고 있기 때문에 기준치의 설정효과는 현실적으로 관측 가능한 상한값임에 주의하여야 한다. 즉, 이는 규제자의 입장에서 설정된 규제기준치의 보수성을 파악하는 모델이다.

3.2. 예제 및 결과

이러한 수학적 모델은 다양한 X의 확률분포에 대해 적용하였으며, 해석적으로 다루기 힘든 확률분포들에 대해서는 Monte-Carlo 모의실험을 이용하였다. Table 1은 기준치가 모집단 분포에 대한 평균값으로 설정되었을 경우 그 기준치가 갖는 보수성(위험도의 과소평가 정도)을 모의 실험한 결과들을 간단히 보여준다.

Table 1의 첫 번째 열의 결과들은 규제기준치가 X의 평균에 가깝게 설정된 경우 T의 기대값은 전형적으로 0.85에서 0.95 사이에 놓여 있다는 것을 보여준다. (분포의 파라미터 값을 변경하거나 감마 또는 베타분포들과 같은 다른 분포들에 대해서도 모의 실험을 하였고 또한 유사한 결과를 얻었다.) 다시 말해서, 모집단으로부터 규제대상인 관심의 변량 (e.g., 위험도, 계통 신뢰도, 등등)에 대한 규제기준치가 평균값과 동일하게 설정될 경우 규제자에게 제출되어지는 위험도의 추정치는 실제의 위험도 보다 평균적

Table 1. Underestimation of Risks Using Mean Value Defaults*

Distributions	E[Y/X]	E[$\min(Y_i/X_i)$, $i=1, \dots, 100$]
Exponential	0.8515**	0.20 ± 0.01
Weibull (shape parameter 2)	0.88 ± 0.02	0.40 ± 0.01
Weibull (shape parameter 3)	0.90 ± 0.02	0.52 ± 0.01
Weibull (shape parameter 5)	0.92 ± 0.01	0.66 ± 0.01
Uniform (lower bound=0)	0.8466**	0.505 ± 0.001
Lognormal (error factor=3)	0.88 ± 0.02	0.24 ± 0.01
Lognormal (error factor=10)	0.90 ± 0.02	0.10 ± 0.01
Lognormal (error factor=30)	0.93 ± 0.01	0.06 ± 0.01
Lognormal (error factor=100)	0.95 ± 0.01	0.05 ± 0.02

* The simulation results represent ± two standard error as error bounds. ** This is analytic results using equation (2) or (3).

으로 5%에서 15%정도 과소평가되어 제시되어 짐을 의미한다. 이런 정도의 과소평가는 위험도 추정치 자체가 대개 이것보다는 훨씬 큰 불확실성을 내포하고 있기 때문에 평균값에 가깝게 설정된 기준치의 사용은 그리 심각한 문제가 아닌 것처럼 보일 수도 있다. 하지만, 좀더 깊이 생각해 보면, 다음과 같은 두 가지의 잠재적인 문제점들이 나타나게 된다.

첫 번째 문제점으로, 일반적인 위험도 분석에서는 식 (1)에서 주어진 여러 가지 형태의 추정치들이 함께 곱해져서 계산된다는 점이다. 만약 각각 15%씩 낮게 평가된 4개의 추정치들이 독립적으로 곱해져야 한다면, 최종 위험도는 수십배 낮게 평가될 소지가 있다. 게다가, 이들 추정치들이 종속적일 수도 있다. 만약, 어떤 하나의 위험도 관련 변량에서 평균 보다 나쁜 사업자들은 당연히 다른 변량에서도 평균 이하일 가능성이 높고, 사업자가 앞서 가정한대로 행동한다면 위험도의 과소평가는 훨씬 증대될 것이다.

두 번째로, 보다 중요한 문제점은 평균적으로 위험도의 추정치가 단지 약 15% 정도 과소평가될 뿐이라 하더라도, 모집단에서 가장 심각한 위험도를 갖는 발전소들은 설정된 기준치의 사용으로 다른 발전소들에 비해 과소평가의 문제는 훨씬 심각해진다. 예를 들어, 전체 100기의 원자력 발전소가 운영되고 있다는 가설적인 상황에서 모의실험을 해보면, Table 1의 마지막 열의 결과와 같이 여러 가지 상이한 추정치들을 곱하지 않더라도 가장 위험도가 큰 발전소에서 위험

도는 쉽사리 몇 십배 낮게 평가될 수 있음을 단적으로 예시하고 있다. 더욱이, 시뮬레이션 결과들은 주어진 X 의 분포함수 형태에서 X 의 산포가 클수록, 즉 모집단이 이질적일수록, 모집단에서 가장 성능이 나쁜 발전소의 위험도 추정치는 과소평가되는 정도가 더욱 더 심각한 문제가 될 수 있다.

Table 1의 결과들은 기준치가 모집단의 평균에 가깝게 설정되어졌을 때 - 특히 모집단이 매우 이질적이라면 - 가장 큰 위험도를 갖고 있는 사업체에서는 체계적이고 근본적인 위험도 과소평가의 가능성을 보여주고 있다. 규제자의 관점에서 좀더 보수적인 기준치의 설정이 바람직하다면, 임의의 사업자에 대해 평균적으로 $\alpha \times 100\%$ 이하, n 개의 사업체 가운데 가장 위험도가 높은 사업체에 대해서는 적어도 $\beta \times 100\%$ 이하의 위험도 과소평가를 보장하는 규제기준치를 다음과 같은 수식들을 통하여 결정 가능할 수 있을 것이다.

$$E\left(\frac{X \wedge D}{X}\right) \geq 1 - \alpha, \quad (4)$$

$$E\left[\min\left(\frac{X_i \wedge D}{X_i}\right), i=1, \dots, n\right] \geq 1 - \beta. \quad (5)$$

즉, 식 (4)와 식 (5)를 동시에 만족하는 D 의 최대값이 원하는 기준치가 될 것이며, 앞서 예시한 바와 같이 분포에 따라 해석적인 방법 또는 반복적인 모의실험을 이용한 시행착오방식 (trial-and-error approach)을 통하여 찾을 수 있을 것이다.

3.3. 해석의 제한점

Table 1에 기술되어 있는 평균값에 설정된 기준치의 사용 효과에 대한 결과들은 현실적으로 관측 가능한 결과의 상한값임에 주의하여야 한다. 이것은 모든 사업자들이 완벽한 지식을 가지고 자신에게 유리한 방향으로 기준치의 적용한다고 가정하고 있기 때문이다.

실제로는, 현실에 맞는 위험도 분석의 수행에 드는 많은 비용 때문이던지 아니면 현실성 없는 위험도 분석결과를 제출시 예상되는 규제차원의 제재조치 때문이든 간에, 사업자들은 자신들의 위험도분석에서 종종 파라미터 값과 가정사항들

에 대해 실추정치를 사용할 것인지 아니면 기준치를 이용할 것인지를 미리 결정해야 할 것이다. 이 경우, 사업자들은 실질적인 위험도분석에서 얻게되는 위험도 수준에 대해서 완벽한 정보를 갖고있는 것이 아니라, 불완전한 지식을 가지고 있는 상태이다. 이로써, 분석대상에 대한 파라미터 값이나 가정사항들이 공인된 기준치보다 결코 유리하지 않다 하더라도, 사업자들은 종종 실질적인 위험도 분석을 수행하고 그 결과들을 발표할 가능성은 다분히 있을 수 있는 것이다.

또한 유리하지 않은 위험도 추정치일지라도 이것을 그대로 규제기관에 제출하거나 발표하게 할 가능성을 유발하는 다른 요인들이 많이 있을 수 있다. 예를 들면, 피고용인들의 바람직한 안전의식 유도 내지 안전문화를 고양시킬 목적으로, 아니면 규제기관과 신뢰구축의 일환으로 현실을 반영한 위험도 분석을 수행하고 발표하는 우호적인 정책을 갖고 있는 사업체들이 있을 수도 있다. 또한, 산업계에 따라서는 평가된 위험도가 회사의 자산가치, 보험료, 등에 영향을 미치기 때문에 자신들의 위험도 수준을 정확히 알고 통제함으로써 궁극적으로 경제적 이익을 추구하는 기업도 있을 수 있다.

4. 결 론

일반적으로 위험도 분석의 수행이나 검토의 용이성과 저비용 때문에 여러 가지 인증된 기준치들이 많이 사용되고 있다. 그러나, 각 규제기관마다 제각기 상이한 방법과 기준으로 기준치를 설정, 사용하여 왔으며, 지금까지도 그 차이점이 무엇을 의미하는지조차 이해가 부족한 실정이다. 본 논문에서는 이러한 기준치의 설정효과를 수리적으로 파악하고자 하였으며, 제시된 모델은 규제자가 원하는 수준의 보수성을 갖는 기준치의 설정에 대한 하나의 방법으로 이용 가능할 것이다. 나아가, 의사결정자가 결정해야 할 특정 규제정책의 효과를 파악하는데 많은 도움을 줄 것이다.

보수적인 기준치의 사용에 대한 많은 단점들이 있다하더라도, 규제기준치들은 적어도 어느 정도 보수적으로 설정되는 것이 종종 바람직하다는 것을 예제의 분석결과로부터 알 수 있다. 또한, 이미 비보수적인 기준치를 사용하고 있는

경우, 사업자로 하여금 고유자료를 바탕으로 실질적인 위험도분석을 수행하게 하고 그 결과를 발표하게 하는 동기를 유발시킬 수 있도록 규제 인센티브의 취급에 각별한 주의가 요구된다.

규제 차원의 위험도 분석에서 기준치의 보수성이 바람직한 것인가에 대한 많은 논의들이 결론 없이 오랫동안 진행되어 왔었다. 한편에서는 이러한 보수성이 불필요한 비용을 발생시키고 현실을 무시한 불합리한 것으로 주장되는 반면, 다른 한편에서는 위험도의 누락이나 과소평가의 가능성으로부터 보호할 수 있는 최선의 방안이라고 주장한다. 이와 같이 대립되는 주장들은 부분적으로 보수성을 전반적인 규제시스템에서 하나의 요소로 생각하기 보다 오히려 분리하여 검토하려는 경향에 기인한다. 안전성 향상과 경제적 효율성을 동시에 추구할 수 있는 위험도 기반 규제(Risk-Informed Regulation)^{13~15)}의 성공적 적용을 위해서, 사업자 측은 규제자 측에서 염려하고 있는 위험도 분석결과의 편기(bias)에 대한 당연한 관심을 심각하게 받아들여야 하고 그러한 편기로부터 나타날 수 있는 잠재적 결과들을 효과적으로 막을 수 있는 규제 미커니즘의 개발에 적극 참여할 필요가 있다 하겠다. 동시에, 규제자 측은 효과적인 규제 미커니즘의 개발뿐만 아니라 자신들의 규제정책들이 규제를 받는 사업자들에게 대해 인센티브들을 부적절하게 잘못 취급되고 있지 않다는 것을 보장할 수 있도록 규제 인센티브를 조심스럽게 다루어야 할 필요가 있다. 따라서, 향후 위험도 실추정치와 이에 대한 발표를 자연스럽게 유도함과 동시에 적당한 안전 여유도를 보장할 수 있는 규제 인센티브 시스템의 설계에 대한 연구가 요구된다 하겠다.

감사의 글 : 본 연구는 과학기술부가 지원 하는 1999년도 중장기 과제 “신뢰도 기반 안전성 향상 연구”에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) J. Ravetz, Uncertainty, Ignorance and Policy, in Science for Public Policy, Pargamon, New York, pp. 77~95, 1987.
- 2) J. Linnerooth-Bayer, and B. Wahlstrom, Applications

- of Probabilistic Risk Assessments: the Selection of Appropriate Tools, Risk Analysis, Vol. 11, No. 2, pp. 239~248, 1991
- 3) 장승철, 정원대, 정광섭, 한상훈, 위험도 기반 규제를 위한 기준치 설정에 관한 연구, KAERI/TR-1175/98, 한국원자력연구소, pp. 1~56, 1998.
- 4) S. C. Jang, *et al.*, Implication of Default Values Specified for Use in Risk Analyses, The 5th Korea-Japan PSA Workshop, Seoul, 1999.
- 5) V. M. Bier, and S. C. Jang, Perspective: Defaults and Incentives in Risk-Informed Regulation, Human and Ecological Risk Assessment, Vol. 5, No. 4, pp. 635~644, 1999.
- 6) National Research Council, Science and Judgment in Risk Assessment, National Academy Press, Washington, D.C., 1994.
- 7) U.S. EPA, Risk Assessment Guidance for Superfund, Vol. I: Human Health Evaluation Manual, Suppl. Guidance, Standard Default Exposure Factors, Interim Final, OSWER Directive 9285.6-03, Washington, D.C., 1991.
- 8) R. B. Belzer, The Peril and Promise of Risk Assessment, Regulation, Vol. 14, No. 4, pp. 40~49, 1991.
- 9) J. D. Graham, Improving chemical risk assessment, Regulation Vol. 14, No. 4, pp. 14~18, 1991.
- 10) R. H. Harris, and D. E. Bunmaster, Restoring Science to Superfund Risk Assessment, Toxics Law Reporter Vol. 6, pp. 1318~1323, 1992.
- 11) A. L. Nichols, and R. J. Zeckhauser, The Perils of Prudence: How Conservative Risk Assessments Distort Regulation, Regulatory Toxi. and Pharma. Vol. 8, pp. 61~75. 1988.
- 12) J. M. Griesmeyer, and D. Okrent, On the Development of Quantitative Risk Acceptance Criteria, An Approach to Quantitative Safety Goals for NPPs, NUREG-0739, U.S. NRC, Washington, D.C., 1980.
- 13) U.S. Nuclear Regulatory Commission, The Use of PRA in Risk-Informed Applications, NUREG-1602, Washington, D.C., 1997.
- 14) H. Specter, and C. Braun, Safety Goals, Safety Policy, and Economic Opportunities, ANS Executive Conf. on Policy Implications of Risk-Based Regulation, Washington, D.C., 1994.
- 15) Harvard Group on Risk Management Reform, Reform of Risk Regulation: Achieving More Protection at Less Cost, Harvard School of Public Health, Boston, 1995.