

위험과 코스트의 最適化

본 내용은 『안전공학』 91년 8월호의 “リスクとコストの最適化”를 번역한 것으로 위험에 대한 정량적 평가법에 대한 개괄적인 내용소개와 아울러 risk의 허용범위, risk와 cost의 관계 등을 기술하고 있다.

1. 머리말

현대사회는 고도로 技術革新이 진행되며 그 속에서 우리들은 여러가지 풍요로움을 향유하고 있다.

그러나 편리하다는 것의 내면에는 여러가지 危險性(risk)이 존재한다는 것을 잊어서는 안된다. risk라는 말에는 몇가지의 정의가 있으나 본 테마에서 다루는 risk의 의미는 科學技術에 따라 존재하며, 개인 및 사회안전을 侵害하는 危險性 즉, 技術risk에 한정한다.

기술risk는 기술에 따라 危險性이 관계하는 客觀的 尺度로서, 定量的으로 파악이 되는 경우에는 被害의 期待值(피해의 크기와 발생수 또는 발생확률의 곱), 그렇지 않은 경우는 危險性이나 사고의 가능성(潛在的 危險)으로 정의된다.

本 稿에서는 제품안전만이 아니라 제품에서 범위를 확대하여 製造設備나 기술, 그것에 부수하는 risk와 cost 또는 효용(便益)과의 관계에 대해 논한다. cost와 效用과는 表裏의 관계에 있어 cost를 논하는 것은 효용을 논하는 것과 같다.

또한, 여러가지 형태로 존재하는 risk의 허용은 누구에 의해서 어떻게 되며, 그 판단에는 어떠한 要因이 관여하고, 어떠한 risk의 豫測方法이 있는가, risk가 파악된 경우 어떻게 意思決定에 이용되는가 등에 대해서 정리하였다.

2. 社會속의 危險

현대문명사회의 주체로서 생활을 영위하고 있는 개인은 사회를 구축하고 있는 수 많은 安全시스템 위에 있다. 즉, 의식주의 생활환경에 있어 식품이나 에너지의 안전과 안정공급, 의료시스템에 의한 健康管理, 안전한 交通시스템, 地震이나 火災에 대한 防災시스템 및 이들의 시스템에 대한 행정면에서의 감독 등에 의해서 개인이 그것을 의식하지 않으면 안되며, 안전의 유지에 큰 노력을 하고 있는 것이 사실이다. 이것은 역으로 우리를 둘러싸고 있는 환경에는 많은 위험이 잠재하고 있는 것을 나타낸다.

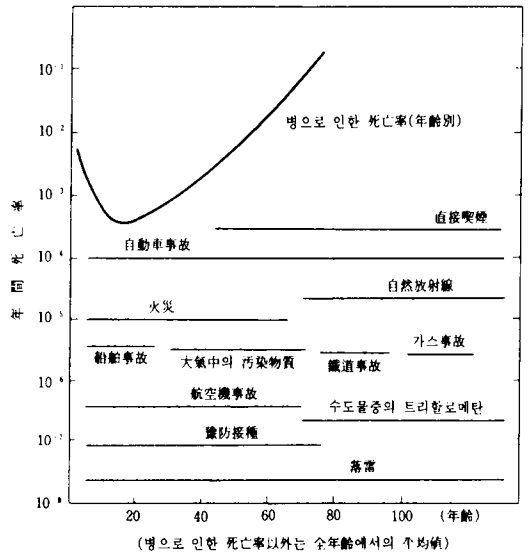
편리한 것은 위험한 것과 表裏關係에 있고, 안전은 상기

와 같은 노력에 의해서 유지되고 있다 할 수 있다. 그러나 現代社會의 기초가 되는 科學技術은 점점 多樣化 및 複雜化의 길을 치닫고, 이에 따라 우리를 둘러싸고 있는 社會環境에 잠재하는 위험의 종류가 증대함과 함께 그것이 일단 現存화한 경우 深刻度도 증대하는 경향이 있다.

安全努力에도 한층 더 前進, 變革이 요구되며, 적절히 대처하지 못하면 종래의 안전시스템이나 생각이 기술의 급속한 변화에 따르지 못하여 대책이 뒤져버리는 사태가 생긴다.

특히 새로운 기술이나 製品, 化學物質이나 遺傳子 操作 등에 의해 인간이 새롭게 만든 risk는 이들의 導入初期에는 影響豫測이 곤란하며, 결과적으로 큰 피해를 입을 가능성을 갖고 있다. 할로젠가스 등에 의한 地球次元의 장기적인 環境被害의 문제가 擡頭되지 오래이며, 장래 새로운 요인으로 같은 사태가 발생하는 것은 허용되지 않는다.

그림 1에 일본에서의 연령별 病死率과 일상생활에서의 각종 risk를 비교하였다. 여기서의 risk는 개인생활중에서 직접 명확한 형으로 관계한다고 생각되는 것이다. 이외에도 각종의 職業事故 등의 risk가 존재하며 더욱이 環境影響이라는 개인의 범위를 벗어난 risk도 존재한다.



〈그림 1〉 日常生活에서의 각종 risk 레벨

이 예와 같이 死亡risk라는 동일한 형태로 risk가 밝혀진 경우에도 실제에는 원인이나 발생의 형태가 다른 것에 대해서는 단순히 비교할 수 없다.

또한, risk를 입을 대상과 이익을 받을 대상과에 균형상 큰 차이가 있는 경우가 있고, 價値觀이나 觀點에 따라 risk는 별도의 比重과 側面을 갖는다.

본 테마에서 문제로 하는 技術risk는 個人的 觀點, 企業經營者의 立場, 社會的 觀點이라는 다른 관점에서 취해진다. 그러므로 같은 技術에서의 risk를 생각하는 경우에도 각 관점에 따라 risk에 대한 판단이나 접근은 다르게 된다.

또한, risk란 客觀的 尺度라고 하지만 실제로는 risk의 과학과 受容의 側面에서 주관적인 認識이나 判斷이 작용하는 경우도 많아 오히려 客觀的으로 파악되는 쪽이 드물다고 해도 좋을 것이다.

이 주관적인 感覺의 差에 의해서도 risk의 인지와 허용에 차가 생긴다.

安全工學의 목적중의 하나는 각종 技術risk를 낮추는 것이나, 반드시 risk를 0로 한다거나 최소로 한다는 것은 아니다. 오히려 risk의 여러 조합을 비교하고, 利益과 대비시켜 평가하는 均衡作業 또는 risk대책과 cost의 균형을 취하는 작업이며, 이들을 통하여 최종적으로 무언가의 意思決定에 이르는 것이 목적이다.

궁극적으로는 個人的 및 社會的 觀點의 兩方向에서 여러가지 의미의 합리적인 意思決定에 이르는 것이 목적이다. 이와같은 작업을 유익하게 해가기 위하여 우선 필요한 것은 危險의 存在를 보다 객관적으로 인식하여 이것에 대처하는 risk감각을 키우는 것이다. risk management나 risk communication을 추진함에 있어서도 우선 각종 risk의 존재를 인식하고, 그 risk를 定量的으로 把握하는 것이 필요하다.

3. risk의 許容

3-1 社會的 意識에 影響을 주는 要因

우리는 어디까지 risk를 허용할 것인가? 사회는 어디까지 risk를 허용할 것인가?

이 許容範圍는 대상인 risk를 사회 스스로 받아 들이는 것인가, 選擇不可能한 本意아닌 것인가에 따라 큰 차이가 있다. 전자와 같이 자신에게 직접 효용이 있고, 자유의지로서의 선택과 제어가 가능한 risk의 대표적인 것으로 자동차의 운전에서 따른 risk가 있다.

또한, 후자와 같이 타인에 손에 制御가 委任되어 있어 간접적인 효용밖에 없는 risk의 대표적인 것으로 쓰레기 소각장이나 原子力 發電所가 있다.

실제로는 자가용차와 같이 分散技術보다도 鐵道 등의 集中管理技術쪽이 전체적인 안전성은 현격하게 좋다.

쓰레기 소각장이나 에너지의 생성도 가정수준에서 행한 경우에는 화재나 환경영향에 의한 risk는 극히 크다할 것이다.

현대의 集中管理技術은 risk의 관점에서 보면 분산된 많

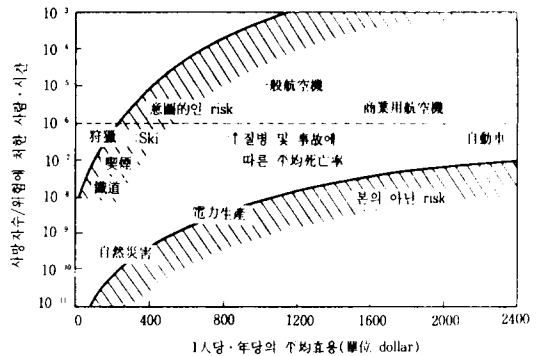
은 risk를 1개소에 국한시켜 관리하는 것이고, 관리양식의 고도화에 의해서 종합적으로 risk가 낮게 된다. 그러나 集中管理技術은 受益者와 被害者를 분리시켜 버리며, 또한 사고가 일단 발생한 경우의 피해는 극히 크게 될 가능성을 갖고 있다.

大型旅客機의 墜落事故, 原子力 發電所의 大規模 事故, super tank의 화재나 전복에 의한 環境被害 등에 의해 수십년 전까지는 없었던 큰 피해가 실제로 생기고 있다.

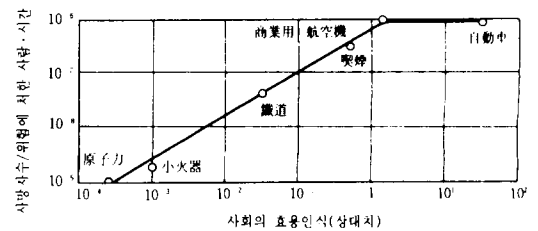
더욱이 기술이나 설비의 거대화에 따라 制御管理의 대상은 한사람으로는 파악될 수 없다. 예상외의 문제가 발생한 경우 그 파악이 곤란하거나 적절한 대처에 어려움을 겪는다.

大規模 集中管理樣式 쪽이 종합적인 risk는 적다고는 일률적으로 말할 수 없는 상황이 생길지도 모르며 安全管理面에서도 技術革新이 필요하게 된다.

더욱이, risk를 허용할 것인가 어떤가는 그것을 허용함에 따라 얻어지는 이익의 크기에 의존한다. 약간 오래된 논문이지만, C.Starr는 risk를 본의아닌 risk와 意圖的인 risk로 대별하여 개인이 그 활동에 관여하고 있을 때의 死亡確率과 달러로 환산한 연간의 이익을 지표로 risk의 허용도 관계를 분석하고 있다. 이것을 그림 2에 나타냈다. 여기서는 公共의 輸送機關에 대해서는 효용이 비용에 동등하다 하여 個人的 輸送手段에 대해서는 효용은 (代替手段에 비해서 준 時間的 價値)+(費用)이다.



(그림 2) 效用과 risk의 關係



(그림 3) 許容된 risk와 그에 따른 效用에 대한 社會的 認識

電氣利用에 있어서 死因으로는 感電, 電氣的 火災, 發電所 운전에서 생기는 사고가 있고, 효용으로는 에너지 소비에 의한 國民總所得의 증가가 고려된다. 참고로 전체의 사고 및 질병에 의한 사망risk(1時間當 死亡率)가 波線으로 나타나 있다.

또한, 각 risk와 효용의 산출 근거에 대해서는 논문중에 나타나 있다. 이 그림에 정리된 값은 평균적인 것이고, 개인에 있어서는 그렇지 않으나 여러가지 risk의 비교, 판단의 척도에 관한 중요한 자료라 할 수 있다. 또한, 허용되는 risk와 그것에 의한 효용에 대한 사회의 인식이 그림 3과 같이 나타난다.

이 그림의 橫軸으로 된 “效用的 認識”은 선전에 든 經費, 總人口에 대한 活動에 참가한 자의 비율 및 活動에 참가하고 있는 개인에 대한 효용 3개를 parameter로 한 函數에 의한 相對值이다.

이들의 분석에 의해 아래의 흥미있는 결론이 나타나 있다.

- 1) 사람들이 스스로 「意圖的」인 risk를 허용하는 비율은 「本意아닌」 risk의 약 1000배이다.
- 2) 疾病에 의해 사망하는 統計上의 risk가 다른 risk의 허용 level을 정하는 判斷基準이 된다.
- 3) risk의 社會的 許容度는 효용과 함께 증대하나 이들은 단순히 比例關係는 아니며, risk의 허용은 대체로 효용의 3승에 비례한다.
- 4) risk가 큰 경우에도 효용을 선전함에 의해서 사회의 수용성은 증가한다. 이것은 약 20년 전에 美國에서 행해진 분석이나, risk의 허용은 시대나 환경에 의해서도 변화한다.

無公害野菜나 건강식품에서 보여지는 바와 같이 최근에는 健康risk에 대한 사회의 의식이 높아져 어느 정도의 cost가 발생하여도(즉 效用이 低減) 안정성을 강하게 추구하는 경향이 있다. 이같은 社會의 意識變化에도 주의할 필요가 있다.

表 1에 risk의 許容에 影響을 주는 요인을 정리하였다.

(表 1) risk가 許容에 影響을 주는 主要因

破局的인가 아닌가
自發的인 行爲를 동반하는가 없는가
스스로 制御 가능한가 없는가
直接 효용이 있는가 없는가
효용의 크기
子孫에게 影響이(長期的인 影響)있는가 없는가
傷害나 疾病의 可能性
環境에 被害가 있는가 없는가
恐怖의 程度
人爲的인 것인가 自然的인 것인가
不確定性的의 크기
宣傳

3-2 risk에 따른 規制

행정면에서 科學技術에 따른 risk를 어느정도 規制할 것인가에 관해서도 近來 安全目標라는 형태로 구체적인 수치가 논의되고 있다. 아래에 石油化學産業施設에 대한 것으로서 네덜란드의 예를, 原子力 發電所에 대한 것으로서 美國의 예를, 그리고 放射線被爆에 대한 國際的 勸告에 대해 기술한다.

1) 네덜란드

네덜란드에서는 1982년 EC 理事會 指令(소위 세베소 지령)에 대해 아래와 같은 個人死亡risk의 수준을 설정하였다. 이 배경은 “센베”나 “체르노빌”과 같은 대사고의 risk에 대한 사회의 관심이 증대한 것을 들 수 있다.

10^{-4} /년; back ground

10^{-6} /년; 許容level의 上限值

10^{-8} /년; 無視可能的한 水準

$10^{-6} \sim 10^{-8}$ /년; ALARA原則을 適用

back ground 수준은 10세에서 15세의 死亡率에 해당하며, 이 시기의 死亡率은 생애에 걸쳐 가장 낮은 값을 나타내고 있다.

이 back ground의 1%의 수준을 허용하는 上限值로 설정되어 있고, 2자리 적은 10^{-6} /년 이하의 수준은 무시가능한 것으로 하고 있다.

英國에서도 값은 약간 다르지만 같은 定量的 risk 水準을 취하고자 하는 움직임이 있다.

2) 美國

原子力 規制局(NRC)은 산업계가 原子力發電所를 운전함에 있어 추구하지 않을 수 없는 일반 국민의 건강과 안전의 보호수준에 대하여 견해를 밝히고자 하는 project를 발족시켜, 1986년에 確率論的 安全評價結果를 이용하는 安全目標政策聲明을 발행했다.

그 후 이 정책의 구체적인 실시계획이 검토되어 왔으나 認許可에 사용하는 것은 아니며 법규제의 합리적인 개정이나 효과의 판단에 이용하는 방향으로 나가고 있다.

이 安全目標중에서는 다음과 같이 定量的 指標를 정하고 있다.

1) 原子爐事故에서 생긴 即發的災害에서 發電所 site에 근접한 범위(敷地境界에서 1mile 이내)의 平均的 個人에 대한 사망risk는 미국의 전인구가 다른 사고에서 입는 卽發事故의 사망risk(5×10^{-4} /년)의 0.1%를 초과하지 않는 것으로 한다. (즉, 2×10^{-7} /년 이하)

2) 原子爐事故에서 생기는 gun의 재해로서 發電所 site附近的 범위(반경 10mile 이내)의 인구에 대한 사망risk는 다른 전체의 원인에서 생기는 gun 사망risk(2×10^{-3} /년)의 0.1%를 넘지 않는 것으로 한다(즉, 2×10^{-6} /년 이하).

3) 原子爐事故로 放射線物質의 大規模放出 可能性은 운전중의 原子爐 1基當 1年間에 100만분의 1이하로 한다.

현재 미국 이외의 先進諸國에서도 같은 定量的 安全目標가 검토되고 있다.

3) 放射線 安全

國際放射線防護委員會(ICRP)의 권고에 있어서 放射線防護의 3원칙은 아래와 같다.

(1) 放射線被曝을 수반하는 행위는 충분한 효용이 있는 경우가 아니면 도입해서는 안된다(行爲의 正當化)

(2) 개인의 被曝線量, 피폭하는 사람수, 피폭의 가능성은 경제적 및 사회적 요인 고려하여 합리적으로 달성될 정도로 낮게(ALARA:as low as reasonably achievable) 지켜져야 한다. (防護의 最適化)

(3) 개인이 받는 線量 혹은 risk의 합계가 설계된 한도를 초과해선 안된다(개인의 線量限度)

(3)의 線量限度에 대하여는 放射線 醫學의 관점에서 작업자와 일반인으로 나누어 설정되어 있다. (2)의 최적화의 경우에 고려되어야 할 인자에는 방사선 방호라는 특수성이 있으나 防護의 最適性을 定量的으로 판단하기 위한 평가방법에는 일반성이 있다.

이들을 표 2에 나타냈다.

(표 2) 最適性의 定量的 評價技法

cost 對 效用分析 risk 對 cost 分析 多屬性效用分析 Multicriteria優位分析	
---	--

3-3 製品安全과의 關係

현재 화제가 되고 있는 製造物의 責任에 대해서는 설명을 생략하고, 여기서는 risk의 관점에서 사회에서 제품의 허용에 대해 기술한다.

우선 특수한 경우를 제외하고, 사회에서 제품의 缺陷에 의한 risk를 제어할 수 있는 부분이 크다는 인식이 강하며, 만약 자동차에 risk가 내포되어 있다면 그것은 허용되지 않는다고 생각된다.

안전치 않다는 사실이 현존화한 경우에는 소비자는 이것을 완전하게 받아 들이지 않을 것이며, 안전때문에 cost가 과도한 것도 소비자측에서는 받아 들이지 않을 것이다. cost와 risk의 定量的 關係를 명확하게 할 필요성이 여기에 있다.

제품개발의 원칙으로서 「특별히 우수한 제품」 또는 「격차있는 제품」에 의한 차별화와 競爭力 強化를 들 수 있으나, 합리적인 cost의 범위에서 안정성에 격차를 주는 것이 가능하다면 제품의 특징으로서 소비자에게 어필할 수 있다. 여기에 사고가 일어난 때의 지출을 최적화하기 위하여 수동적인 cost 대 risk 평가를 행할 수 없으며, 제품의 특징을 부여하기 위해 적극적으로 평가를 할 가치가 있는 것이다.

4. risk의 豫測

risk에 따른 어떤 의사결정을 하기 위해서는 우선 risk를 정량적으로 파악할 필요가 있다. 장기간의 경험이 data로서 축적되어 있는 경우에는 이 경험 data에 따라 정량적으로 risk분석이 가능하다. 예를 들면 보험의 요율은 기본적으로 경험 data에 따라 산정되고 있다.

그러나, 신기술이나 신제품에 대해서는 data가 적거나 거의 없는 것도 있고, 경험이 이용되지 않는 것도 많다. 유인우주비행과 같이 사고의 결과가 가혹하고, 저기서 교훈을 얻는 것이 허용되지 않는 경우나 원자력과 같이 大規模 投資, 莫大한 影響, 低發生確率이라는 특징을 가진 분야에서는 이론적인 접근에 의한 risk평가나 안전평가가 실시되어 왔다. 이론적인 評價方法論의 설명은 다음 기회로 미루고, 여기서는 몇가지의 기법을 간단히 소개한다.

1) 製品의 risk評價

제품의 risk평가는 危險特性이 제품에 의해서 생기는 피해의 가능성을 사전에 예측하는 것이고, 아래와 같은 기법이 이용된다.

*가능성이 있는 위험의 분석기법

PHA, Check list, FMEA, HAZOP, FHA, 작업수속분석 등

*確率評價技法

FTA, GO, 회로논리해석, THERP 등

최근에는 기기의 信賴性이 향상된 결과, 기계와 사용자와의 접점에서 사고가 발생하는 경우가 증대하고 있다. 이것은 고장이 발생하지 않아도 작업하는 인간 혹은 인간과 기계와의 接觸領域의 문제에 기인하여 발생하는 human error에 의한 것이다. 상기의 작업 수속분석이나 THERP는 이와같은 원인에서 발생하는 human error의 분석을 행하는 기법이다.

상기 기법의 대부분은 Missile이나 人工衛星 등의 安全評價에 사용되는 것이지만, 제품이라도 자동차와 같은 기기외에 농수산물이나 의약품도 포함되는 등 극히 대상범위가 넓기 때문에 이들 기법이 전 제품의 평가에 적용된다고는 할 수 없다.

2) 설비의 risk평가

사고에 따른 risk의 평가척도로서 표 3과 같은 것을 들 수 있다.

F-N curve란 직교좌표상에 피해와 발생확율을 축으로 나타낸 누적분포곡선이며, risk는 2次元量에 기인하고 있다.

原子力, 石油化學 plant, 宇宙, 鐵道의 분야에서 定量的 risk의 평가가 행해지고 있고, 設計變更 등의 의사결정에 실제로 사용되고 있다.

個人 risk
risk 等高線
risk와 거리의 profile
社會的 risk
F-N curve(risk profile)
全人口의 平均死亡率
平均的인 壽命損失
製造者의 損失
1億 勞動時間當의 死亡者數
特定事故마다 1億勞動時間當 死亡者數
設備의 壽命期間에 걸친 死亡者數
經濟的 損失額

3) 技術的 risk評價

근래 각종 發電system의 risk비교가 도처에서 실시되고 있다. 설비의 risk평가에는 없는 기술risk평가가므로 發電設備運轉時의 사고에 따른 risk만이 아니며 建設, 燃料生産이나 輸送, 廢棄物 및 에너지절약에 따른 risk도 종합적으로 평가할 필요가 있다.

대표적인 것을 아래에 소개한다.

(1) 독일 추정부

장래의 발전구상을 검토한 것으로 risk(건강영향)는 독립된 사회목표는 아니며, 경제적 영향, 환경보호 등의 평가 지표 중의 하나이다.

(2) 미국

2020년의 에너지 risk를 예측한 것으로 에너지생산에 관한 여러가지 활동을 고려한 것으로 사람의 건강risk를 평가하고 있다.

(3) 캐나다 AECB(Atomic Energy Control Board)

재래의 에너지원과 풍력이나 海洋溫度差 등의 非在來型의 에너지원과를, 직업상 및 公衆衛生上의 risk로서 비교한 것이다.

(4) 영국 HSE(Health and Safety Executive)

여러가지 에너지 생산방식에 대하여 사고사에 의한 risk를 비교한 것이다.

(4) 환경 risk

환경문제는 인간에 대한 직접피해만이 아니라 환경에 대한 장기적으로 불투명한 영향까지도 문제로 하고 있다. 예를 들면, 發電技術(石油, 石炭, 天然가스, 原子力, 水力 등)에 따른 사회에 대한 직접피해는 극히 적지만 이산화탄소나 질소산화물, 방사선물질 등의 장기적으로 불가역적인 영향이 문제시되고 있다.

환경의 영향을 고려한 risk평가에 있어서는 인간의 건강에의 영향이외의 유해한 영향도 평가에 포함시킬 필요가 생긴다. 오염물질이나 기후 등에 대해서 국제적 감시활동이 행해지고 있고, 이 감시의 대상이 중요한 risk의 소재

를 나타낸다고 생각된다.

환경risk에는 長期性, 影響範圍의 넓이(氣象, 動物, 植物, 全 生態系 등), 량과 영향의 관계가 불명확하다는 특징이 있고, 그 영향을 예측하는 것은 이제부터의 문제이다.

5. risk와 cost

5 - 1 risk와 cost의 관계

3에서 기술한 risk의 허용은 주로 사회의 관점이고, 이 경우의 risk는 효용과의 상관을 강하게 갖는다. 한편, 설비나 제품을 관리, 판매하는 측의 관점에서 보면, risk와 cost의 관계에서 문제가 된다.

risk를 평가하는 목적이나 가치의 하나는 안전을 위한 투자를 最適化하는 것이다. 이것은 risk를 감안한 종합적인 cost의 최소화이며, 안전을 위한 투자의 최소화를 의미하는 것은 아니다. 설비나 제품의 耐用期間 전체에 걸쳐서 필요로 하는 cost는 이하와 같이 표시할 수 있다. (1年當의 관계를 보는데는 事故對策 cost는 年當 平均cost, 事故發生回數는 年當 事故發生頻度로 치환하면 된다.)

- 사고대책 cost (X) = (안전대책 cost) + (보험 cost)
- 사고시 발생 cost (Y) = (사고에 의한 손실) + (배상청구에 의한 손실) + (간접손실) - (보험에 의한 cover)

$$\bullet \text{종합대책 (Z)} = (\text{사고대책 cost}) + (\text{사고발생 회수}) \times (\text{사고시 발생 cost})$$

- risk (R) = (사고발생회수 × 사고시 발생 cost)
- cost비 = (사고대책 cost) / (사고발생회수 × 사고시 발생 cost)

$$= (\text{사고대책 cost}) / (\text{risk})$$

• 사고대책 cost의 증가분과 risk의 감소분이 만나는 점(Co)

$$\frac{dR}{dX} \mid Co = -1$$

사업자는 설비의 안전대책을 위하여 설계시공시의 투자에 더하여 정상적으로 안전관리 cost를 붙이지 않으면 안 된다.

또한, 제품을 出荷하는 경우에는 안전대책에 cost를 붙임과 함께 付保하는 것이 보통이다. 사고대책 cost(X)는 이들의 경비를 종합한 것이다.

사고시의 손실에는 表 4와 같은 여러가지 被害樣式이 있고, 피해의 단위도 다르다.

설비사고에 있어서는 製品回收라는 被害樣式은 없으나 出荷한 제품의 사고에 있어서는 回收措置에 따른 경비가 생긴다. 상기 양식에서는 이들 전체의 피해를 cost로 환산하고 等價化한 것이다.

더욱이 사고의 소송에 따른 cost, 社會的인 信用低下에 따른 간접피해가 존재한다.

보험에 의한 손실의 cover도 인사사고에 따른 賠償範圍는 계약에 따라서는 전부 cover될 수는 없고, 최근에는 보험에 의한 대처가 불가능한 경우도 생긴다.

(表 4) 被害様式과 그 單位

피해양식	단위
人命損失	死者數, 壽命損失
疾病	病者數, 休業日數
非致死性事故	傷害者數, 休業日數
居住不可	面積, 時間
設備損害	投資損失
製品回收	費用
其他經費	費用

이와 같이 付保하여도 큰 손실을 받는 경우가 있고, 보험으로 전체가 cover된다고는 할 수 없다.

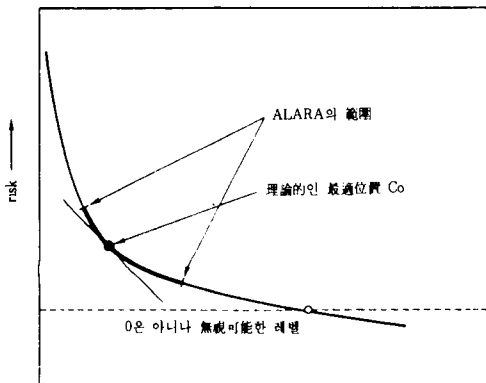
信用低下 등 間接被害는 정확한 cost로 환산하는 것이 어려우며, 실제의 risk 대 cost평가에서 명확하게 고려되지 않는 경우도 많다. 또한, 보험 cost나 보험에 의한 cover도 고려되지 않는 경우가 있다.

일반적으로는 그림 4와 같이 risk와 cost의 관계는 볼록곡선으로 표시되고, 사고대책 cost의 증가분과 사고시 발생 cost의 경감분이 만나는 Co가 cost performance의 관점에서 이론적인 최적치가 된다. 즉, 그림 4에 있어서 risk-cost 곡선에 대하여 곡선의 기울기가 1이 되는 위치이다.

비와 같은 원활한 관계가 성립되지 않는 경우에는 종합 cost가 적게 되고, 한편 cost비도 적은 경우가 最適이라고 생각된다. 이와 같은 요소를 감안, ALARA의 원칙에 따라 risk는 가능한한 적게 하는 것이 바람직하다.

이 최적위치에 대한서의 의사결정은 事故發生確率과 間接被害를 어떻게 가미하는가와 사회에 허용되는 risk의 수준이 어느 정도인가에 의해서 큰 영향을 받는다. 안전대책 cost는 일반적으로 사고시 발생 cost와 사고발생확률의 균형상태에서 결정되나, 원자력과 같이 대규모 사고의 발생이 사회적으로 허용되지 않는 경우의 안전대책은 통상의 균형에서 보면 과도하게 행해져 있고, 상기의 cost비가 극히 큰 것으로 되어 있다.

이것은 간접피해가 실제에는 극히 크다고 인식되고 있기 때문이다.



(그림 4) risk와 cost의 關係

즉, 사고의 발생이 확률적으로 극히 적고, 중대한 사고가 발생하여도 사회의 영향은 그다지 크지 않다고 생각되어도 그와 같은 사고가 한번이라도 가까운 곳에서 발생한다면 기술 그것이 허용되지 않는 사대로 되기 때문이다.

그러므로 매우 특수한 상태가 생기고 있다. 이것은 생명의 손실을 막기 위하여 지불하고 있는 노력이 직업이나 기술에 따라 다르다고(생명이나 상해의 값이 다르다)하여 사회전체의 risk 균형을 생각하면 그다지 바람직스러운 상태는 아니다.

5-2 risk 對 cost평가

이하에서는 製品, 設備, 技術로 나누어 risk와 cost의 평가방법에 대해 검토한다.

1) 製品의 risk 對 cost評價

生産物 責任問題에 대처하기 위해서는 생산자는 소송대책까지를 포함하여 종합적으로 대책을 고려해야 한다. 日本에서는 생산물 책임에 대해 法制化는 保留된 상태이지만 해외에서의 소송의 증가를 고려하면, 금후 생산cost에 큰 영향을 미치도록 생산risk분석의 방법론을 확립할 필요가 있다.

4.에 열거한 risk 평가기법은 꽤 이전부터 있던 것으로 설비나 system의 평가에 이용되고 있다.

그러나 제품의 안전대책 및 cost의 最適化라는 분야로의 적용은 늦어지고 있다.

제품의 risk가 허용되는 정도인가. 감소시킬 필요가 있는가. 그 때문에 어디에 방호대책을 취할 것인가. 방호대책으로의 지출은 어느 정도 필요한가. 경고의 표시를 어떻게 할 것인가 등을 평가하는 기법의 표준화가 요망된다.

(2) 設備의 risk와 cost 評價

기존설비를 평가대상으로 할 것인가, 설계단계에서 평가를 할 것인가에서 평가의 효과가 다르게 된다. 전자의 경우, 현재의 수준에서 risk를 감소시키기 위해 늘 무언가에 cost를 수반하는 것으로 평가의 목적은 일정한 투자로 안전을 최대로 증가시키기 위하여 cost performance를 최적화하는 것이다.

후자의 경우는 risk의 저감과 동시에 건설cost의 저감을 도모하는 것도 가능하다.

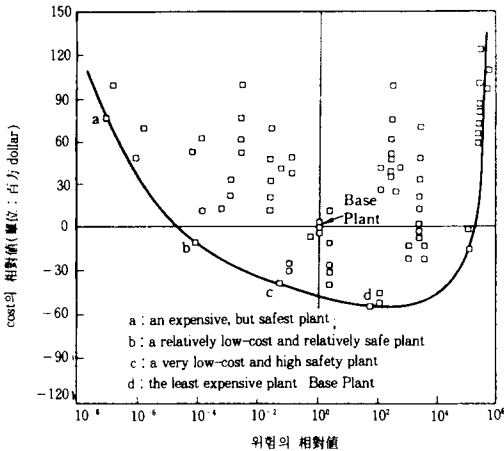
cost에는 보험cost도 포함된다. 이것은 현재의 risk 수준을 받아 들인 후의 대처이고 당사자만이 아닌 전체 가입자가 사고cost를 부담하는 것이다.

안전에 자신이 있는 회사는 보험에 가입하지 않는다는 선택도 있으나 이 의사결정은 risk에 대해 客觀的 data에 따라서 행해질 필요가 있다.

전자의 평가에로서는 space-shuttle의 補助出力 unit에 관한 평가이다. 또한, 후자의 평가에로서 液體金屬 高速增殖爐의 設備設計의 차이에 의한 cost변화와 risk저감의 효과를 평가한 것이 있다.

그림 5에 후자의 評價結果의 예를 나타낸다. 原點位置를 base case로 하고 各軸의 risk, cost는 함께 base case에 대한 相對値를 취하고 있다.

case에는 일반인의 사망을 cost로 환산한 값이 포함되어 있고, 말하자면 賠償請求에 의한 손실을 가미한 형으로 되어 있다. 이 때문에 사망risk가 큰 곳에서는 cost치가 상승하고 있다.



(그림 5) 設備設計의 차이에 따른 cost의 변화와 risk低減效果

한편, 사망risk가 적은 곳에서의 cost는 대개가 건설 cost로 되어 있다. 실선은 각각의 risk 수준에 있어서 cost의 最適値를 주는 것이 되고, 부드러운 곡선을 그리고 있다.

3) 技術risk 對 效用評價

risk를 받아 들일 때의 지표의 하나인 효용에는 다양한 價値判斷이 존재하고 있으므로 risk와 효용을 지표로서 기술을 비교·평가함은 용역치 않다.

cost가 효용의 주요소라고는 할 수 없으나 판단의 요소는 시대에 따라 변화한다.

기술에 따른 risk 평가예로서 「2020년의 美國에 있어 에너지 관련 risk」라는 제목의 논문에 흥미있는 결론이 나와 있으므로 소개한다. 이것은 1984년에 「에너지-시스템의 risk와 이익에 관한 국제심포지움」에 보고된 것이다.

여기서 행해진 것은 技術의 代替案의 비교는 아니고 현재의 정책 그대로 추진한 경우 약 40년 후의 에너지生産에 관한 risk의 증가를 평가한 것이며, 지표로서는 壽命損失을 이용하고 있다. 이것에 의하면 2020년에 주요한 risk의 발생원은 소형차의 보급에 따른 교통사고이고 3×10^8

인·일의 수명손실이 생길 것이라 한다.

두번째는 라돈 등의 실내의 放射線 物質의 증가에 의한 다. 肺癌의 발생확률 증가를 들고 있다. 이것은 斷熱設備의 강화에 의해서 실내의 空氣換氣率이 저하하는 것에 의한 다. 壽命損失은 1×10^6 인·일로 평가되고 있다.

세번째가 백탄에서 유래하는 大氣汚染에 의한 risk이고 $3-7 \times 10^7$ 인·일로 되어 있다.

이 논문은 기술risk를 평가하는 하나의 根幹을 나타내고 있다. 금후 계속적으로 기술 risk를 분석함과 아울러 시대에 의한 가치기준의 변화에 따라 효용도 아울러 평가하고 기술의 수용에 관한 의사결정에 사용될 수 있었으면 하는 바램이다.

6. 맺는말

각종 기술이나 제품이 사회나 환경에 미치는 영향이 무시될 수 없는 것으로, 피해의 예방에는 옛부터 내려오는 사후 대처적 생각이나 안전에 대한 투자의 保證要求 등에 대한서의 근본적인 변화가 얻어진다.

이중에서 risk의 평가는 行政者, 經營者, 社會 전체가 문체의 당사자라 할 수 있다.

설비의 risk평가나 기술의 risk평가에는 이제껏 행해져 온 것에 대해서 제품에 기인하는 潛在的 risk의 분석은 또한 本格的으로는 행해지지 않는 것 같다.

설비안전을 생각하는 경우 「위험이 보통의 상태에서 안전은 특수한 상태이다」라는 생각의 바탕에서 安全對策이 취해지고 있는가, 製品安全을 생각할 때도 우선 위험의 존재를 인지하는 것이 필요하다.

다음에 risk와 cost를 논하기 위해 risk를 객관적으로 파악할 필요가 있다.

risk평가는 단순히 소송의 대처로서 필요한 것은 아니며, 사회의 종합적인 안전과 경제적 자원의 균형을 추구해야 하는 것이다. 이 의미에서는 製品, 設備, 技術의 安全評價 또는 risk 평가는 동등한 입장에 있다.

최종적으로 어떤 기준에 따라 어느 분야에서 보다 좋은 安全對策이 필요한가를 검토하여 意思決定에 이르는 것이 필요하다.

價値의 判斷에 대해서는 주관적인 요소가 강하고 여러 가지 요소가 관계한다.

다양한 價値基準을 고려하여 개인이나 집단의 意思決定을 지원하는 기법에 대해서 연구를 행하여 risk와 cost에 관한 communication이 합의형식에도 적용가능한 것으로 만들고자 한다. (6)