

Risk Assessement를 통한 土地利用安全化計劃

Risk Assessement-Safety for Rand use Planning

노 삼 규 *
Sam Kew Roh

ABSTRACT

Planning controls for the hazardous situation from Petrochemical Complexes in residential areas requires on theoretical estimation of risks. Engineering criteria and standards should be interpreted as acceptable risks for the safety of industrial workers and the community arising from industrial accident.

An approach to formulate a safety criteria as distance between the origin and object of hazards and their impact are discussed.

I. 序 論

最近 印度의 보팔 (Bopal) 市, 멕시코시티 (Mexico city) 및 소련의 체르노블 (Chernovel) 등지에서 일어난 大形의 産業事故는 그 施設物의 被害뿐만 아니라 隣近 住民에 이르기까지 수많은 犠生者를 同半함으로써, 工學化 過程의 예기치 못한 공포의 대상으로 등장했다.

이러한 産業災害의 被害를 줄이기 위하여 선진국에서는 위험물 취급 産業施設, 特히 石油化學 계열 工場과 주위에 인접한 住居活動 사이의

安全離散距離의 확보, 또는 工場이나 住居地 이전 등 土地利用規制를 통한 기술적, 법적 發展을 가져왔다.

우리나라의 工場立地法에 의한 土地利用은 大規模 裝置産業의 立地上的 安全規制를 위한 구체적 적용범위나 지침이 마련되어 있지 않을 뿐만 아니라, 실제로 그러한 危害産業 (Hazardous Industry)의 부근에 住居活動이 許用되고 있는 형편이다.

이런 경우 産業立地를 위한 安全對策의 설정에 앞서 위험물 취급 工場의 識工이나 인근의 주민들에게 받아 들일수 있는 위험정도 (Acceptable Risk)의 한계치를 어떻게 방법으로 決定할 것인가 하는 문제는 많은 論議를 야

* 正회원 : 오스트라리아 UNV N. S. W 工學博士 (도시계획) 경희대 산업대학 조경학과

기시키고 있다. 따라서 先進各國에서는 土地利用規制를 통한 安全對策을 세우기 앞서, 위험물 취급 施設이나 工程으로 부터 露出될 수 있는 被害程度의 算出 一例를 들어 石油탱크의 爆發로 인한 被害가 隣近에 위치한 住宅에 미치는 危險程度의 算程(Risk estimation)一方法을 開發하기에 이르렀다.

이러한 危險分析(Risk Analysis)方法은 첫째 危險程度의 測定이란 概念으로서 如何한 事故可能性을 測定, 사고로 인한 被害의 強度 및 發生確率을 算出하여 被害의 程度가 人間 또는 財産에 미치는 影響을 알아내는 것에 重點을 두고 있다. Risk 測定이란 것은 비교적 새로운 概念으로서 工場의 設計나 工程別 施設物 배치 및 그 安全對策이 主觀的 判斷에 의한 기준, 즉 주로 기술적인 원리나 직업상의 經驗에 의한 過去의 傳統의인 방법과는 차이가 있다 하겠다. 가격경쟁이 점차 치열해지고 生産價의 조절이 무엇보다 중요한 현실적인 狀況아래, 우선 안전성 조절을 위한 投資政策에서 얻어지는 利益을 극대화할 필요가 있다. 그러나 Risk를 測定하지 않고서는, 즉 利益을 극대화한다는 견지에서 반드시 制御되어야 할 Risk와 그다지 중요하지 않은 Risk 등을 조직적이며 숫자적으로 구분하지 않고서는 그 목적을 달성할 수 없다 하겠다.

한편 Risk는 완전히 除去될 수 없다는 점을 알아야 할 것이다. 이러한 狀況을 이룩하기에는 항상 技術의으로나 經濟的인 限界가 따르기 때문이다. 새로이 개발된 技術은 보다 複雜한 구조로 설계되어 이에따른 事故의 豫測을 不許하는 형편이고, 經濟的 觀點으로 보아도 土地의 收容 또는 안전을 고려한 工場施設物의 移轉은 막대한 投資를 要求하기 때문이다. 政策을 決定하기 위해서는 政部나 企業 그리고 地域社會가 共同으로 Risk를 測定하고 評價할 수 있는 기준과 수치가 필요하다. 그러한 기준이 없는 얼마만큼 安全한 것이 充分히 安全한 것(How Safe is safe enough*) 인지를

論議한다는 것은 곤란한 일이기 때문에 政策決定過程을 통해서 가치있는 판단을 내리기 위해서는 여럿이 공인하는 “어떤기준”이 있을때 비로서 對話와 論爭이 可能해질 것이다.

* C.Starr, 'Perception Versus Reality', Risk and Risk Acceptance by Society, Dusseldorf Germany, Feb, 1977, p. 3.

II. 産業災害로 인한 Risk 測定과 評價의 概念

Risk 測定과 評價에 對한 조직적 研究는 英·美國을 中心으로 개발되어 서방 各國에서는 現在 성공적으로 活用되고 있다. 이와같은 방법은 國家에 따라 그 地域 사정에 맞추어 여러가지 형태로 사용되고 있다.

이 방법은 크게 나누어, 1) 위험성의 확인, 2) 위험성의 分析, 3) Risk의 평가 및 Risk 제어(Control) 대책의 공식화와 活用, 그리고 비용과 利益의 상관성에 따르는 우선순위 등을 기준으로 한 Risk의 수치에 의한 組織的인 評價와 測定을 바탕으로 해서 이루어진다.

附言하면 총체적인 安全對策이 체계적이며 合理的인 安全管理과 운영절차, 非常對策, 防火對策 및 예방대책을 포함하는 安全對策活用の 기초를 이룬다.

1) 위험성 확인(Risk Identification)

이 과정은 위험성의 조건 및 원인을 “확인”하고 ‘파악’ 할 것을 목적으로 하여 施設의 여러가지 요소들과 그 시설의 活動狀況을 조직적으로 點檢하는 과정이다. 그 내용은 工程에 따라서 다르지만 대부분의 경우 다음 사항이 포함된다.

一事故의 原因 또는 窮極의으로 어떤 결과를 초래케 하는 원천으로부터 事故의 경로를 論理的으로 추적하는 과정과 事件 경위의 파악기술.

一事故發生의 可能性과 그 위험정도의 연구; 이것은 '없음' '좀더많음' '좀더적음' 등으로 표시, 單位工程의 Risk를 包括적으로 점검 事故可能性의 조건을 조직적으로 파악한다. 보다 중요한 목적은 現在 實施하고 있는 Risk control 및 대책의 효율을 파악, 조직상의 취약점을 발견해 주는데 있다. 이 방법은 現在 구미의 각 기업체와 정부당국이 함께 실시하는 경향으로 흐르고 있는데 이래없이 큰 효과를 거두고 있다. 새로운 施設의 설치에 앞서 이 방법은 設計나 建設 또는 工場稼動의 必須의 요건이 되어있고, 既存施設에 대해서는 이 研究가 총체적 安全對策으로 공식화되어 가고 있다. 이 研究는 工場 管理者와 安全對策 전문가로 구성되는 '팀 (Team) 활동'에 의해 이루어 지는데, 공장의 유경험자가 參與하는 것은 매우 중요하다고 한다.

2) 위험성 분석 (Risk Analysis)

여기서는 위험성 확인 (Risk Identification) 과정에서 파악한 요인들을 미리 마련된 위해영향 (Hazard Impact)의 강도측정치 예컨대 火災時 발생하는 放出熱 (Heat radiation)의 영향 이라든가 爆發性 超過 壓力 (Explosion Overpressure) 毒素 流出 (Toxic Release)의 영향등이 평가된다. 이를 위해서는 다음 두가지 方法이 사용된다.

一각기 確認된 事故의 發生可能性을 (理論의 사건발전경로) 測定하고 각 單位工程別 發生可能性으로 종합해 위험등고선 (Risk Contour)으로 연결 표시한다. 이때 얻어진 위험등고선 (Risk Contour)에 의해 工場施設物의 位置, 종업원의 위험지대, 비상통제활동등 여러가지 항목이 規定된다. 한편 공장 외각지역에 미치는 Risk정도도 이에 의해 측정될 수 있다.

一Risk지대 (Zone)는 事故發生可能性을 표기한 사고목록을 기초로 해서 측정한다.

이 경우는 어떤 사고가 發生可能性이 크고, 작은지를 결정하기 위해 위험성 및 事故發生可能性 연구에 큰 비중이 주어진다. 이때 여러가지 Risk Zone을 映像하거나 測定하기 위해서 Computer program이 개발되었다.

3) Risk평가와 Risk제거정책의 공식화

이 과정은 事故가 發生하는 Risk의 여러 수준을 '대상기준'과 비교함으로써, 총체적으로 測定한 Risk의 평가가 可能해진다. 이를 위해 우선순위의 List가 設定되고, 安全性改善을 위한 방안의 選擇이나 조절안이 研究되고 있다. 安全性을 개선하거나 사고예방에 유효한 對策 (특히 石油系列 및 化學施設을 중심으로 모든 시설에 대해서도 동일한 원리) 일반적으로 다음사항을 포함한다.

一事故強度의 경감

- 現在 사용중이거나 事故有發 可能性이 있는 危險物質의 減量
- 工場內外의 區劃間 거리의 遠隔化
- 重要 構造物과 人命의 보호

一事故頻度の 減縮

- 危險物質 保管에 對한 再考
- 事故防止 및 制御手段의 再考
- 非常對策의 再考

一管理

人力 및 資本의 過用을 피하기 위해 다음 方法을 再點檢할 것.

- 工場 및 施設의 變化를 점검
- 新設工場에 대한 設計構想段階에서 技術的인 安全對策을 樹立
- 技術者 訓練과 實習

III. 災害評價와 土地利用의 安全規制 方法

위해요소평가 (Hazard Impact Assessment)는 기본적으로 事故可能性의 確率 (頻度; Frequency)와 그 사고로 인한 피해의

크기 (強度; Consequence) 로 構成된다.

1) 頻度 (Frequency)

頻度測定은 기본적으로 安全조절 (Control) 의 정확성에 기인하는데, 그것은 工場稼動의 구성 또는 安全組織의 構成이나 危險物質의 種類, 積載量 혹은 취급방법, 그리고 工場의 設立時期 등을 고려하고 있다.

頻度測定은 一般적으로 過去 일정시간 동안에 對象工場과 비슷한 규모의 工場이나 施設物 등에서 일어났던 安全事故등을 종합하여 비교 測定할 수 있지만, 새로운 技術이나 新開發物質의 導入에 의하여 과거의 事故統計가 신뢰할 수 없을 정도로 미약한 경우 (극히 드물게 발생하는 사고의 경험이나 최근에 設置된 시설 등)에는 假定實驗치에 의한 판단에 依存하여 그 頻度を 測定할 수 밖에 없다.

2) 強度 (Consequence)

事故被害種類에 있어서 가장 대표적인 것은 'Risk 分析' 에서 피력한 바와같이 화재 또는 爆發時의 軸射放出熱의 單位로서 分類된다. Bastone 과 Tomi(1979)의 실험치에 의한 研究는 放出熱 범위의 적용한계치로서 一般住居活動에는 $1.6\text{kw}/\text{m}^2$ 를 工場勤務者에게는 $4.7\text{kw}/\text{m}^2$ 의 범위를 제한했다.

이러한 제한은 住居活動과 石油化學工場의 사이에는 $1.6\text{kw}/\text{m}^2$ 의 방출열 한계치가 적용될 수 있는 離散距離가 보장되어야 한다는 의미를 시사한다. 한편 Kletz(1978)는 도로 등 일반 공중의 접근지역에는 $12.5\text{kw}/\text{m}^2$ 까지 적용될 수 있다고 지적한 바 있다.

이러한 방출열 범주 (表 1)는 工場施設物과 被害對象物 사이의 安全離散 거리의 결정요소로서 사용될 수 있다.

또 다른 事故의 影響으로는 蒸氣爆發 (Vapour Cloud Explosion)로서 가연성 가스나 인광성 液体 (Flashing liquid)등이 高壓의 상태에서 氣液 평형을 유지하거나, 그 평형이 급격히 破壞될 때 심한 爆發效果를 일으킨다.

表 1

(kw/m^2)	軸射放出熱의 影響
1.2	여름철 정오경의 직사일광
1.6	일시적인 피부에 오는 경미한 통증
2.1	약 1분간의 노출후 피부에 통증을 동반
5.0	약 15-20 초간의 노출후 피부통증 및 상처를 동반 (30 초간 노출)
12.6	초 장시간의 노출후 나무에 인화 가능한 온도까지 상승
25.2	장시간의 노출경우 나무에 자인발 화정도까지 상승

參照, Tomi, D.T. A. I. Ch E, U.S.A 1979.

液化石油가스 (Liquified Petral Gas) 의 예로서 사고시 화염에 쌓인 용기內部的 壓力이 液体의 溫도와 함께 상승되면서 용기벽의 일부가 破壞됨과 同時에 이와같은 現象이 일어난다. 이때 液体 全部가 完全히 氣化해서 20°C 의 蒸氣가 됐다고 가정할 때, 프로판가스의 경우 그 液体容량의 277 배까지 增幅된다 한다. (註: Loss prevention in the process industry)

이러한 爆發은 超過壓力 (Over pressure)에 의한 破壞效果를 同半해서 大規模 強度의 災害를 가져올 수 있다. 그 典型的 例로서 1974年 영국의 Flexbrough의 事故를 들 수 있겠다. 그 사고 要因은 약 40 t의 유출된 싸이크로헥산 (cyclohexane)의 引火로서 약 1分間에 걸친 蒸氣爆發로 인하여 爆發 및 火災被害를 가져왔다. 當時 超過壓力에 의한 被害로서 工場勤務者 28명의 死亡을 비롯 事故地點으로부터 약 330m 떨어져 있는 隣近住宅에 미친 爆發效果는 창문이나 창틀이 破壞되거나 지붕이 날아가고 벽에 금이 가는등 약 2psi 정도로 추정되었다. 多幸히 이로 인한 住民들의 사상은 초래하지 않았다.

이에 따른 英國의 保健安全機構 考問委員會 (Health and Safety Commission

Advisory Committee)의 제2차 보고에 의하면 이러한 事故에 對하여 보다 強力한 規制를 함에 앞서 蒸氣爆發로 인한 事故에 대비하여 爆發性 超過壓力의 종합적인 산출방법을 제시한 바 있다. 아래 表2는 정상 超過壓力에 의한 構造物 被害產出을 열거하였다.

表2

爆發超過壓力에 의한 構造物의 被害	
超過壓力 (psi)	建物에의 影響
15	완전붕괴
10	75% 외벽붕괴
7.5	주거불가능정도—재건축을 위한 전면붕괴 필요
5	50% 외벽붕괴 및 벽면내부에 금이 감
4]	외벽의 붕괴정도에 따른 주택의 재생가능 또는 불가능 정도
3]	
2	주거불가능하나 재건축을 위한 전면붕괴 불필요
1.1	내벽 및 연결부분 피해, 재생가능
0.5	90% 유리창 파괴
0.25	50% 유리창 파괴
0.1	10% 유리창 파괴

參照: Health and Safety Commission Advisory Committee, England, 1979.

한편 위원회는 安全을 考慮한 土地利用計劃을 위하여 0.4psi 범위를 實質的인 規制限界值로서 採擇하였다. 이러한 판단은 한편 0.7psi 超過壓力 범위를 住居用 建物에 1.5내지 3psi를 공공도로에 적용하는등 비교적 낮은 強度의 被害許用限度를 보장할 수 있도록 고려하였다.

Kletz(1979)에 의하면 0.4psi 超過壓力 범위를 獲得하기 위해서는 비교적 작은 規模(20-30 t의 Petrol 탱크)의 施設物로부터 住居活動間의 安全距離를 약 300 m, 큰 規模의 施設物(50 t ~ 100 t의 Petrol 탱크)의 경우는 약 600 m를 제안한 바 있다.

3) 치사율에 의한 재해분석 (Fatality of Risk)

한편 工場에 隣接한 特定地域의 土地利用에 관한 安全離散距離의 決定에 있어 모든 危險毒素을 考慮할 수는 없을 것이나, 災害는 그 성격에 따라서 피해는 크나 극히 드문 가능성—頻度—으로 일어날 수 있는 것과, 反對로 그 피해영향은 작으나 보다 頻繁히 일어날 수 있는 것으로 서로 달리 평가되어야 할 것이다. 따라서 산정된 Risk수준은 그 영향—被害強度—이나 가능성—頻度—으로 표기될 경우 각기 다른 거리에 미치는 災害의 크기로 이루어질 수 있는데 이를 等高線形式으로 연결함으로써 각 危險施設物로부터 일정거리에 미치는 Risk수준을 쉽게 이해할 수 있다. 이렇게 산정된 Risk가 土地利用上에 收用될 수 있는지의 여부는 일상생활을 통해서 부여되는 여러가지의 다른 災害毒素—自動車運轉, 吸煙, 水泳, 등산 등과 그 피해효과를 비교함으로써 평가할 수도 있는데, 自然災害—홍수, 地震 등으로 인한 피해도는 그 Risk가 흡연이나 자동차운전등의 행위에 비해 그 부과된 사건이 어떤 價値나 利益이 따르지 않는 이유로 Risk의 收用 (Acceptable Risk) 한계정도가 자연적으로 낮을 수 밖에 없다 하겠다. 이러한 비교는 인간에게 부여된 자발적인 재해 (Voluntary Risk)와 피자발적 재해 (Involuntary Risk)로서 구분 그 사고로 인한 死亡率 統計值를 비교해 볼 수 있다.

(表3)

表3 自發的 / 被自發的 災害

自發的	
자발적행위	Risk × 10 ⁻⁶ / 년
흡연 (20本 / 일)	500
음주 (포도주한병 / 일)	75
피임약	20

被自發的災害	
피자발적행위	Risk × 10 ⁻⁶ /년
홍수	2.2
번개	0.1
백혈병	200
독사·독곤충	0.2

參照：S. Haddad, RAIPJ, Aust 1981.

그와 마찬가지로 石油化學 등 危害産業工場 근처에 住居하는 행위는 대부분의 住民들에게 있어서 公害나 災害를 가져올 수 있는 無價値한 즉 피자발적 Risk의 범주로 볼 수 있겠다. 이러한 배경속에서 Kletz(1976)는 結論짓기를, 만약 危害工場으로 부터 個人當 Risk가 年間 백만분의 일 (1×10^{-6})의 치사확율로서 부과될 경우, 그 Risk는 무시될 수 있는 정도의 收用可能權 Risk로 간주했다. 그 이유는 다른 Risk들과 비교해 볼때 일상적으로 人間이 共存하고 있는 Risk들 보다 훨씬 낮은 수준에 있기 때문이라고 강조한 바 있다.

4) 土地利用의 變화와 安全規制

土地利用規制 및 計劃에 있어서, 위와같은 各種의 사고로 인한 被害影響은 安全離散距離 算出에 효과적인 방법을 제시한다 하겠다. 한편, 時間의 흐름에 따라 이러한 土地安全利用計劃을 通하여 危害産業施設이나 그들에 인접해 있는 住居地域에 어떠한 規制를 加하며 또 이에 따른 産業活動이나 住居등의 土地利用은 어떻게 變遷할 것인지를 豫測해 볼 必要가 있겠다. 이러한 구상은 安全을 위한 土地利用政策의 實行要素와 이에 따른 時間的 變化를 세 가지 時期로 나누어 分析해 볼 수 있다.*

* S.K.Roh, 'Planning for Risk Control-Risk Perception in Decision Molcing, Environmental Planning and Management Studies, N. S. W, Australia, 1987.

첫번째 時期로서 災害評價 (Risk Assessment)에 의한 危險狀況에 따라 새로운 工場의 유치나 既存工場의 施設擴大를 規制하거나, 工場에 인접한 住居 또는 기타의 公共施設物 유치를 제한하고, 危險線 內에 居住活動者에게 比 상대피교육등을 실시한다.

두번째 단계로서는, 위험시설물의 재배치 또는 安全組織의 개선이나 生産構造의 變化 등을 通해서 産業活動의 安全度を 높이고, 경우에 따라서 部分的 또는 全体的인 操業停止를 부과시킬 수 있겠다. 이때 住居活動을 비롯한 危險地域內의 諸般活動 등을 段階的으로 위험선 밖으로 철수되어져 安全離散距離를 확보해야 한다.

마지막 단계로서, 앞의 두단계에 의해서 自然發生的으로 이루어지는 결과로서, 産業의 새로운 기술개발에 의해 既存施設의 老朽 또는 經濟價値의 전체적인 變化를 요구하거나, 이미 확보되어진 安全離散距離에 의해서 또는 새로운 산업으로의 政策的 추진에 의하여 土地利用의 變化가 따르게 되고, 이에 의한 주민들의 災害認識 (Risk Perception) 또한 變化할 수 있다.

IV. 結 論

土地利用安全計劃에 앞서, 危害影響評價 (Hazard Impact Assessment)는 工場의 新設 또는 擴張時 뿐만 아니라 反對로 工場隣近의 住居地 開發이나 人口가 密集하는 公共의 土地利用時에도 必須的으로 실시하여야 할 것이다.

주민들이 감수해야 하는 위험수용 (Acceptable Risk) 한계치를 결정하기에는 기술적인 한계뿐 아니라 사회적인 제약이 따르고, 土地利用計劃을 利用한 安全離散距離 擴張에도 막대한 經濟的 損失이 따르기 마련이다. 그러나 앞으로의 위험수용 한계치 설정에는 本論에서 서술한 바와같이 인간의 생명에 미치지 않을 정도의 위험한계치를 기본으로 다음과 같은 최소한의 요구를 충족시켜야 할 것이다.

즉 産業施設의 확장등으로 새로이 제안된 危害要素가 現存하는 인근의 住居活動에 미치는 危險정도는 日常적으로 부과되는 여타의 災害들보다 훨씬 낮은 정도의 가능성으로서 規制되어야 함과 同時에 여하한의 開發行爲는 現在의 危險水準에 부과되는 結果가 위험수용(Acceptable Risk) 한계치를 넘지 않도록 보장함으로써 이루어져야 할 것이다. 따라서 安全을 위한 앞으로의 土地利用規制나 計劃은 사고의 가능성 즉 頻度나 被害強度 등이 許用하는 離散距離의 確保가 반드시 고려되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

Bastone, R.J, Tomi D.T.; Hazard Analysis in Planning Industrial Development, CEP Technical manual, 13th Ross Prevention Symposium, A.I. Ch. E, Huston, Texas, Vol.13, 1979.....
 T.A. Kletz; The comparison between voluntary and involuntary risk, the Applica-

tion of Hazard Analysis to risks to the public at large; World Congress of Chem. Eng., Session 5, 1976.
 Haddad, S.G.; Hazard studies in land use planning RAPIJ, Australia, August, 1981
 Vlek, Charles and Stallen; Piefer-Jan, Rational and Personal Aspects of risk, Acta Psychologica, Vol.45, 1980.
 S.K. Roh; Risk Perception in Planning, Ph.D thesis, School of Town Planning, N.S.N, Australia 1987.
 S.K. Roh; Perceived Risk; Living near Petrochemical Complexes in Australia, Japan and Korea, World Congress of Sociology, Research Committee on Disasters. New Delhi, India, Aug. 1986.
 S.K. Roh; Perceived Risk, Risk Analysis, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A, 1987, #46
 S.K. Roh; 'Planning for Risk Control', Mass Emergency and Disasters, Denver, Colorado, U.S.A. 1987, #2034.