《사례연구》

階層分析模型에 의한 安全組織의 評價

(An Evaluation of Safety Organization by Analytic Hierarchy Model)

이 상 도* 이 병 근**

ABSTRACT

These are preisely the controlling factors that we must deal with and measure in order to get realistic answers. We must stop making simplifying assumptions to suit our quantitative models and deal with complex situations. To be realistic our models must include and measure all important tangible and intangible, quantitatively measurable, and qualitative factors. This is precisely what we do with the analytic hierarchy process (AHP).

In this paper, the statistics of industrial accidents are classified with its causes, and safety organization in D heavy industry company be evaluated by Analytic hierarchy model. The influence weight of level of safety organization can be ordered supervisor (0.364), operator (3.10), top manager (0.232) and executive (0.164) by AHP.

1. 序　論

기업, 경영조직, 공공정책, 공업설계, 자원운용, 공중위생, 산업안전, 의학, 교육문제등 우리 사회의 모든 주변은 그 자체가 하나의 크고 작은 시스템을 이루고 있다. 이는 그 구성요소의 수나 요소간의 상호 관련성에 따라 매우 복잡하게 얽혀있는 경우가 많다.

특히 기업내의 조직은 그 유형이 어떤 조직형태를 이루든지간에 Fig.1. 과 같이 작업자 계층, 감독자 계층, 상급관리자 계층, 최고경영자 계층등 4계층 (Layer) 으로 구분되며 外形的으로는 垂直構造를, 機能遂行에서는 垂直, 水平的 관계를 유지하게 된다. 그러나 대부분의 실제 조직과 특히 그 기능수행상의 상호관계는 매우 복잡하게 얽혀있다. 이러한 조직시스템을 파악하는 데에는 종래 分析的 模型 (analytic model) 이 적용되어 왔으나 이는 단순한 가정하에 이루어지는 것이기 때문에 시스템의 주요인자가 충분히 고려되지 못함으로써 결과마저도 만족한 결과를 얻을 수 없다는 결점을 가지고 있다. 이에 시스템의 構造와 階層간의 상호 영향력을 파악함에 있어서 객관적이거나 계량 가능한 요소뿐만 아니라 객관화가 불가능한 요소나 정성적 요소들까지도 고려하여 분석 가능한 방법을 제시하고 있는 것이 階層分析模型 (hierarchy analysis model) 이다 [1].

* 동아대학교 공과대학 산업공학과
** 경남전문대학 공업경영과

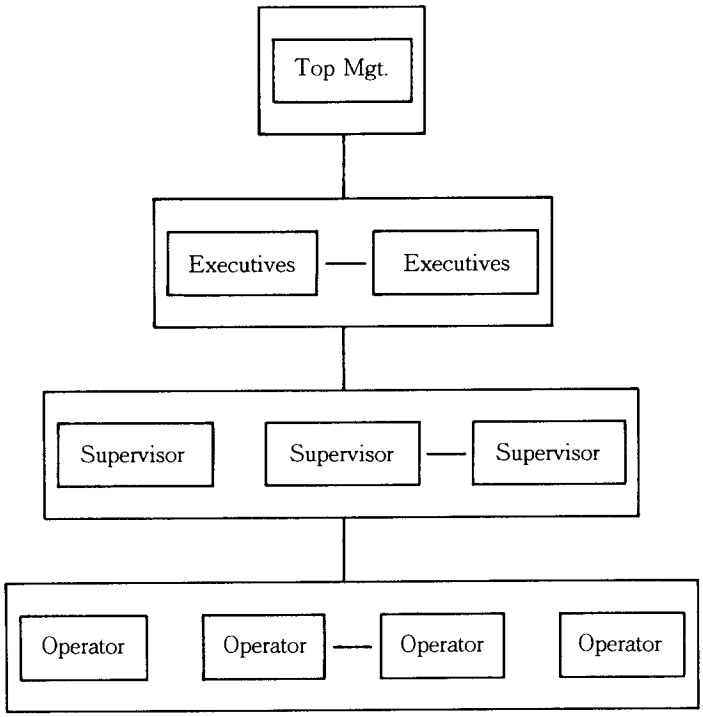

Fig. 1 A Prototype hierarchy model of management organization

2. 階層分析模型의 構成

2-1. 階層의 構成方法

階層的 模型에서 階層構造를 결정하는 것은 매우 중요한 문제이다. 실제적으로 계층에 포함되는 目的, 判斷基準, 활동등을 찾아내는 일련의 규정된 절차는 없다. 우선 좋은 아이디어를 얻기위해 관련분야를 연구하고, 여러 계층의 사람들이 함께 직위나 이해관계를 떠나서 자유롭게 문제에 대한 사항들을 토론한다. 그리고 最終目標(ultimate goals)가 階層의 最上層 水準(top level)에 놓이는 것이 타당한가 검토하고, 선정된 最終目標에 관련된 下部目標(sub-objectives)를 바로 아래에 배치한다. 다음에 下部目標에 관련된 活動이나 目的들을 그 아래에 배치하고 關聯性을 표시한다. 이런 방법으로 배치를 계속하여 여러가지 가능한 결과나 계획안을 最下層 水準에 놓는다[2]. Fig.2.는 고등학교의 선택문제에 대한 계층적 구조를 나타내고 있다.

2-2. 分析方法

階層的 模型에서 각 活動들의 상대적 重要性에 대한 판단을 준비하고, 이러한 판단이 모든 활동을 정량적으로 표시할 수 있도록 하는 것이 매우 중요한 문제이다[3].

예를들어, n개의 활동이 관심대상의 水準에서 고려되어진다고 가정하고 $C_1, C_2, \cdots, C_n$을 각 활동의 집합이라 하면 활동 C_i와 C_j쌍에 대한 相對的 重要性의 정량적 판단은 n-by-n 행렬로 다음과 같이 나타낼 수 있다[4][5].

$$A = (aij) \quad \begin{matrix} i = 1, 2, 3, \cdots, n \\ j = 1, 2, 3, \cdots, n \end{matrix}$$

여기서, aij 항은 다음 규칙에 의해서 정해진다.

<규칙1>

만약 $aij = \alpha$이면, $aji = 1/\alpha$이다.

단, $\alpha = 0$

<규칙2>

만약 C_i가 C_j와 비교하여 상대적 중요성이 동등하다면, $aij = 1$, $aji = 1$이다.;

특히 모든 i에 대하여서는 $aii = 1$이다.

따라서 행렬 A는 다음과 같은 형태를 갖게 된다.

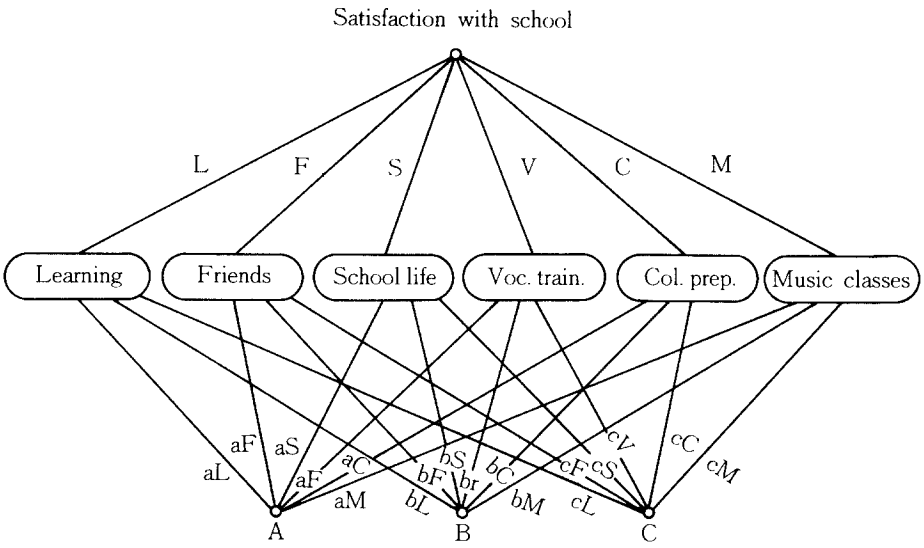

Fig. 2 School satisfaction hierarchy(Adapted from Saaty, p.25)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \cdots\cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots\cdots & a_{1n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots\cdots & 1 \end{bmatrix}$$

한쌍(C_i, C_j)에 대한 相對的 重要性의 정량적 판단은 행렬 A에 대한 aij 항으로 나타난다[6].

상대적인 중요성을 비교하는 방법으로서는 여러 가지 있을 수 있으나 일반적으로 Stenley Smith Stevens의 방법이 가장 많이 사용된다. 이는 Table 1.에서 보는 바와 같이 중요성의 종류를 정성적인 개념으로 몇단계 구분하고 그에따라 1에서 9까지의 값을 부여한다. 값이 클수록 중요도가 높으며, 중요도의 단계구분의 중간의 경우는 2,4,6,8과 같은 짝수값을 부여하도록 되어있다.

규칙에 따라 각 쌍(Ci, Cj)의 정량적 판단을 행렬로 나타내고 이 행렬을 사용하여 다음 절차에 의하면 각 活動이 目標에 끼치는 영향을 優先順位로 나타낸다[7].

우선순위 값의 계산은 다음과 같다.

Step 1.

열의 합을 구하고 이 합으로 열의 각 항을 나누어서 새로운 행렬을 만든다.

Step 2.

Step 1.에서 만들어진 행렬의 행의 합을 구해서 열 벡터를 구한다.

Step 3.

Step 2.에서 얻어진 열 벡터를 행에 행의 수로 나누어서 새로운 열 벡터를 구한다.

Step 4.

Step 3.에서 구해진 열 벡터는 각 활동의 優先順位로 나타내고, 다음 水準에서 상기 절차에 의해 얻어진 優先順位와 행렬의 곱을 통해서 최종적인 계획안의 優先順位가 결정된다[8].

<예제>

예를 들어보면, 쌍(Ci, Cj)의 비교행렬이 다음과 같다고 가정하자.

	A	B	C	C
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Table 1. Allocation of scale Number according to the intensity of important

Intensity of importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective
3	Weak importance of one over another	Exprience and judgement slightly favor one activity over another
5	Essential of strong importance	Experience and judgement strongly favor one activity over another
7	Very strong of demonstrated importance	An activity is favored very strongly over another;its dominance demonstrated in pratice
9	Absolute importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
2.4.6.8	Intermediate values between adjacent scale values	When compromise is needed
Reciprocals of above nonzero	If activity i has one of the above nonzero numbers assigned to it when compared with activity j, then j has the reciprocal value when compared with i	A reasonable assumption

Step 1. 새로운 행렬을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} 0.66 & 0.78 & 0.53 & 0.39 \\ 0.13 & 0.16 & 0.36 & 0.33 \\ 0.11 & 0.04 & 0.09 & 0.22 \\ 0.09 & 0.03 & 0.02 & 0.06 \end{bmatrix}$$

Step 2. 새로운 행렬의 행의 합을 구해 얻은 열 벡터는 다음과 같다.

(2.36, 0.98, 0.46, 0.20)

Step 3. 행의 수로 나누어 얻은 열 벡터는 다음과 같다.

(0.590, 0.245, 0.115, 0.050)

따라서 이 열 벡터는 A, B, C, D의 優先順位를 나타낸다.

2-3. 一貫性 (consistency)의 檢定

각 활동간 相對的 重要性의 비교에서 一貫性이 없다면 분석결과는 무의미할 것이다. 따라서 一貫性에 대한 檢定方法은 중요하다. 행렬 (Matrix) 이론에서 행렬 A의 aij 항의 작은 변화에 따라 행렬 A의 최대고유값 (The largest eigen value) λ max 가 변화한다는 것을 알 수 있다. 즉, aij 항의 작은 변화에 따른 λ max의 偏差 (deviation)는 一貫性의 측도가 된다. 따라서 一貫性指數 (consistency index:C.I.)는 다음식 (1)과 같이 주어진다.

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad \text{(1)}$$

랜덤하게 발생시킨 二元比較行列의 一貫性 指數 (C.I.)를 랜덤성 指數 (random index:R.I.)라 부른다. Oak Ridge National Laboratory에서 重要性의 척도를 1에서 9까지 사용한 二元比較에서 次數 1~15의 행렬에 대한 평균 랜덤성 指數를 Table 2.와 같이 제시하고 있다.

같은 차수의 행렬에 대한 평균 랜덤성 指數 (R.I.)에 대한 一貫性 指數 (C.I.)의 比率을 一貫性率 (consistency ratio:C.R.)라 부르고, 다음식 (2)와 같이 나타낸다[9].

Table 2. The order of the matrix and the Average random index

the order of the matrix	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
the average random index	0.00	0.00	0.58	0.90	0.12	1.21	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \qquad (2)$$

一貫性에 대한 판정에서, 一貫性率(consistency ratio:C.R.)이 0.1보다 작거나 같으면 一貫性이 있다고 판정한다. [10].

λ max값의 계산은 다음과 같다.

Step 1.

二元比較값으로 만들어진 행렬 A와 앞절에서 구한 優先順位를 나타내는 열 벡터를 곱해서 새로운 열 벡터를 만든다.

Step 2.

Step 1.에서 구한 새로운 열 벡터를 優先順位를 나타내는 열 벡터로 해당 항끼리 나누어 새로운 열 벡터를 구한다.

Step 3.

Step 2.에서 구한 새로운 열 벡터항을 더해서 합을 구하고 항수로 나누어 평균을 구한다. 이 평균값이 λ max 값이 된다.

3. 安全組織의 評價

3-1. 安全事故現況과 體系化

階層的 模型에 의하면 安全組織上의 어느 계층이 가장 큰 책임이 있는가를 밝히는 것은 역으로 어느 계층이 安全事故豫防에 가장 큰 책임이 있는가를 나타내는 의미와 같다.

안전사고는 현장 작업자에게 발생하는 문제인만큼 우리는 일반적으로 Fig.1.과 같은 경영조직의 역순으로 책임과 영향력이 있을 것이라는 가정을 둘 수 있다. 따라서 이러한 분석을 하기 위하여는 안전사고의 통계와 그를 바탕으로 한 안전사고의 체계화가 필요하다.

Table 3.은 본 연구에서 事例 대상으로 선정된 D重工業으로부터 입수한 1979~1989년의 11년간의 災害統計이다. Table 3.의 자료는 우리나라 전체산업의 災害 現況資料와 그 構成樣態에서 매우 유사하다. 한편 Fig.3.은 災害發生을 要因別로 나누어 階層的 模型으로 체계화한 도표이다. Fig.3.에서 알 수 있는 바와 같이 災害發生을 계층 1(level 1)로 두고 계층 2(level 2)는 災害發生의 형태별 분류인 落下비래, 협착, 壁落, 전도, 무리한 動作, 衝突, 其他등을 취하였다.

Table 3. Statistics of industrial accidents of the exampled Co.

Classification Year	Falling	Constri ction	Drop	Upset	Immoder- ate act	Colli- sion	Others	Total
1979	13	17	2	7		2	15	61
1980	27	19	5	7	1	12	27	98
1981	18	72	20	52	21	54	35	272
1982	129	135	225	190	29	229	153	1090
1983	63	116	75	105	62	84	48	553
1984	136	213	288	146	96	304	107	1340
1985	135	132	141	70	81	64	58	681
1986	139	112	78	46	37	25	23	460
1987	86	60	56	29	35	15	14	295
1988	166	90	60	98	184	45	13	656
1989	100	79	59	116	318	53	31	756
Total	1067	1045	1009	866	864	887	524	6262

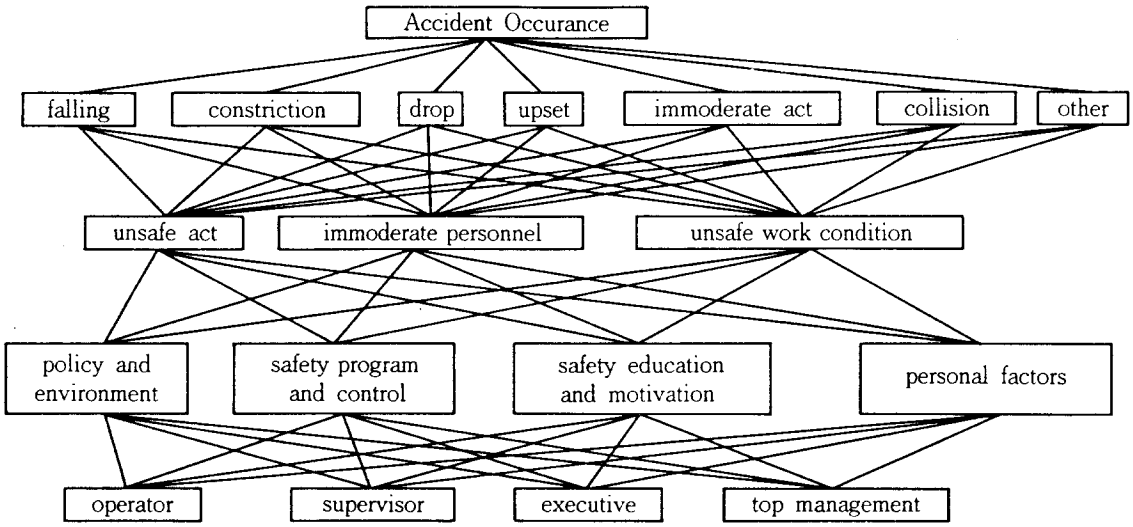

Fig.3 Illustration of hierarchy model for the the Accident Occurance

Table 4. Coding scheme for Accident occurance hierarchy model.

Level	Classification	Coding
1	Accident Occurance	Objective
2	Falling	A
	Constriction	B
	Drop	C
	Upset	D
	Immoderate Act	E
	Collision	F
	Other	G
3	Unsafe Act	가
	Immoderate Personnel	나
	Unsafe Work Condition	다
4	Policy and Environment	Ⅰ
	Safety Program and Control	Ⅱ
	Safety Education and Motivation	Ⅲ
	Personal Factors	Ⅳ
5	Operator	1
	Supervisor	2
	Executive	3
	Top Management	4

계층 3(level 3)은 근인이 되는 不安全한 行動, 作業者의 不適 및 不安全한 시스템의 狀態를 잡았으며 계층 4(level 4)는 災害發生의 原因이라고 볼 수 있는 會社政策과 環境, 安全프로그램 및 管理, 安全敎育 및 動機附與, 個人的인 要素등을 취했다. 이들 4계층은 궁극적으로는 인간적 조직에 의하여 비롯되므로 최종 계층인 계층 5(level 5)는 作業者, 監督者, 上級管理者, 最高管理者가 된다.

3-2. 階層分析模型에 의한 評價

3-2-1. 코오딩계획(coding scheme)

Table 3. 자료를 프로그램화 하기위하여 코오딩한 것이 Table 4. 와 같다.

3-3. 各 階層別 分析

3-3-1. Level 1 ~ Level 2의 분석

Table 3. 에서 얻어진 災害統計를 Table 1. 에 제시한 스케일을 前節에서 언급한 방법에 의하여 할당하면 Table 5. 와 같다.

여기서 첫번째 比較行列의 고유벡터(eigenvector)와 A와 C.I, R.I, C.R을 구하면 다음과 같다.

Objective

$$\begin{matrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.238 \\ 0.238 \\ 0.238 \\ 0.086 \\ 0.086 \\ 0.086 \\ 0.028 \end{bmatrix}$$

λ max $=7.054$

C.I.(consistency index) $=\frac{\lambda \max - n}{n-1}=0.009$

R.I.(random index) $=1.32$

C.R.(consistency ratio) $=\frac{C.I.}{R.I}=0.007$

상기 방법으로 Level 2 ~ Level 3의 분석, Level 3 ~ Level 4의 분석, Level 4 ~ Level 5의 분석을 통해서 災害發生에 대한 影響力의 최종적인 벡터는 각 段階(level)에서 얻은 固有벡터의 행렬들의 곱(D × C × B × A)에 의해서 구해진다. 固有벡터의 행렬들의 곱으로 다음과 같이 벡터를 구할 수 있다.

作 業 者 : 0.310
監 督 者 : 0.364
上級管理者 : 0.164
最高經營者 : 0.232

4. 結 論

이상의 분석결과에서와 같이 災害發生에 대한 最終固有벡터의 값, 즉 影響力은 作業者階層이 0.310, 監督者 0.364, 上級管理者 0.164, 最高經營者 0.232로 나타났다. 다시말해서 災害發生의 책임과 예방할 수 있는 影響力은 監督者-作業者-最高經營者-上級管理者의 순이다. 이는 일반적인 管理組織上의 階層構造에 대하여 생각할 수 있는 逆順에 반하는 결과이다.

특히 組織 階層上 災害發生의 책임과 영향에 있어서 上級管理者層보다도 最高經營者가 더 큰 影響力을 갖는 것은 특이할만한 사항이며, 最高經營者의 安全管理方針과 作業者의 士氣昂揚 浮揚策이 크게 영향을 미친다는 사실이 강조된다.

本 硏究에 사용된 자료는 造船 및 重工業分野의 安全事故現況에 기초를 두고 있으나 우리나라 전체 산업의 災害發生 類型과 本 硏究分野의 類型이 매

Table 5. Allocation of scale Number

	Objective						
	A	B	C	D	E	F	G
A	1	1	1	3	3	3	7
B	1	1	1	3	3	3	7
C	1	1	1	3	3	3	7
D	1/3	1/3	1/3	1	1	1	4
E	1/3	1/3	1/3	1	1	1	4
F	1/3	1/3	1/3	1	1	1	4
G	1/7	1/7	1/7	1/4	1/4	1/4	1

우 흡사함을 확인하였으므로 本 硏究의 결과는 전반적인 산업에 걸쳐 적용가능하다고 판단되나, 특수 작업형태의 산업체나 중·소기업에서는 경우가 다를수도 있을 것이라 생각되므로 각각에 대한 階層間의 평가가 필요하리라 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Saaty, Thoms L. "The Analytic Hierarchy Process", MaGraw-Hill, Inc., 1980, p.1 ~ 87.

[2] Lane, Eric F., Verdini, Willian., op, cit., vol.20, pp.575 ~ 590.

[3] Fishburn, PC., "Method of Estimating Additive Utilities [, Management sci, Vol.13, No.7, pp.435 ~ 453.

[4] Saaty, Thomas L., op.cit., 1978.

[5] Bertran schoner, William c. Wodley, "Ambiguous Criteria Weight in AHP;Consequence and Solution", Decision Sciences, Vol.20, 1989, pp.462 ~ 473.

[6] Zeleny, M., "On the Inadequacy of the Regression Paradigm used in the study of Human Judgement", Theory and Decision, Vol.7, 1976, 80, pp.57 ~ 65.

[7] Suppes,p. and Zinnes, J.L., "Basic Measurement Theory" Handbooks of mathmatical Psychology, Vol.1, 1963.

[8] Geohrion, A.M., Dyer, J.S., and Feinberg, A., "An Interactive Approach for Multicrion optimization with an Application to be operation of an academic Department", Management sci., Vol.19, No.4, 1972.

[9] Geohrion A.M., op.cit, Vol.19, No.4.

[10] Saaty, Thomas L., op.cit., 1980, pp.1 ~ 87.