

화약류 발파사고원인의 AHP기법에 의한 분석

서승록[†] · 이정훈

대구대학교 공과대학 산업공학과
(2003. 1. 3. 접수 / 2003. 7. 9. 채택)

An Analytic Hierarchy Process on the Cause of Gun Powder Blasting Accident

Seung-Lock Seo[†] · Jung-Hoon Lee

Department of Industrial Engineering, Daegu University
(Received January 3, 2003 / Accepted July 9, 2003)

Abstract : This research analyzes blasting accident cause that is happening construction and engineering works spot taking advantage of AHP (Analytic Hierarchy Process) techniques as metrical. Result that apply AHP with blasting accident that is happened the South Korea and Japan, appeared by thing which relative importance by human cause is highest. Specially, it is observance of safety rule that dominate the highest ratio among of human cause, and if observe a little, causes that prevention is possible are much.

By result of this research, necessity of safety education is important first of all for prevention of blasting accident. Also, thorough safety control plan of during work and enough on-the-spot probe before work should be established. Because explosives uses gunpowder and explosive high energy, work by qualified person is essential. And, it may become help to minimize dissipation of important life and property preventing beforehand explosion accident of gunpowder.

Key Words : AHP, gun powder, blasting accident

1. 서 론

우리나라는 1970년대 이후 경제발전 성장과 더불어 건설·토목 현장에서는 부실 시공과 안전에 대한 경시풍조가 만연되었으며 특히 1980년대 후반기 부터는 대단위 토공사 및 굴착공사, 지하철 및 대형 구조물 건설이 급증함에 따라 안전사고에 따른 재해도 다양해지고 대형화되고 있는 추세이며, 이로 인한 재해가 끊임없이 발생되고 있다. 이 중 화약류에 의한 사고 역시 예외가 아니며, 화약제조량의 증가와 함께 발파사고도 꾸준히 대형화, 다양화되고 있는 추세이다.

화약이 최초의 산업용도로 쓰여진 것은 1890년경 경상남도 마산에서 일본인이 채광에 흑색화약을 사용하면서부터이며, 그 후 1968년에 ANFO제작, 1977년 도심지 발파용인 미진동파쇄기(CCR)생산 공급,

1981년 정밀폭약과 슬러리폭약, 1993년에는 예멀전 폭약이 각각 생산 공급되었다. 우리나라 뇌관의 연간 사용량은 70년대 2천여발 수준에서 80년대 3천5백만 발로 증가하였으며, 90년대에는 약 4천여만발로 그 생산량이 증가하였다.(원연호 등, 2000)³⁾. 이러한 화약제조량 및 사용량 증가에 따른 발파사고의 재해는 매우 우발적이기 때문에 예측이 까다로우며, 현장실험도 어렵다. 우리나라의 경우 경찰청에서 발파재해조사를 실시하고 있으나 이것은 다른 형·민사 사건과 같이 취급되어 오고 있으므로, 재해에 대한 공학적 분석이 불가능하였으며, 이에 따라 유사 및 동종 재해에 대한 체계적 조사가 불가능하였고, 대책선정 및 수립도 불가능한 실정이었다. 서승록 과 이정훈²⁾(2001)은 이러한 까다로운 발파사고의 분석을 위해 재해조사표를 개발하고 이를 기준으로 FTA분석을 실시하여 발파사고의 중요원인을 지적하였다. 그러나 각 원인들에 대한 상대적 중요도 및 이에 대한 계량화가 미흡하여 안전대책을 마련하는데 아직도 부족한 부분이 있다 할 것이다.

[†]To whom correspondence should be addressed.
seosl@daegu.ac.kr

이러한 각 원인들간의 상대적 중요도를 고려하는 데는 AHP(analytic hierarchy process)기법이 널리 쓰이고 있다. 이상도와 이병근⁴⁾(1990)은 계층분석모형에 의한 안전조직의 평가를 실시하였으며, 조훈희⁵⁾ 등(1997)은 AHP를 이용한 작업분석 평가기법에 관한 연구를 하기도 하였다.

따라서 본 연구에서는 기존 발파사고의 현황을 바탕으로 AHP기법을 적용하여 발파사고의 원인에 대한 상대적 중요도를 분석하고자 하였다.

2. 발파사고의 현황

우리나라와 산업형태가 비슷한 일본의 경우 1975년에서 1987년 간의 합계를 보면 발파에 따른 전체 재해자 351명중 사망자가 59명으로 전체 발파사고의 16.8%로 대단히 높은 비율로 나타났다.(김정진, 1993)¹⁾. 이처럼 건수에 비해 사망비율이 높은 것은 발파산업현장에서 사용되고 있는 화약류의 폭속이 2000m/s에서 8000m/s의 폭굉(detonation)을 수반하고 있으며, 비 에너지(specific energy)가 높기 때문인 것으로 판단된다.

Table 1은 일본의 발파사고 건수 및 백분율을 항목별로 나타낸 것이다. 이 중 주목할 만한 것은 발파사고항목 중 비석(飛石) 및 낙석(落石)에 의한 사고가 전체의 64.45%를 차지한다는 것이다. 이것은 장약공 내의 화약류가 폭발하면서 커다란 에너지로 암석 등 피 파괴체를 밀어내고 이에 장약부근에 있던 작업자 등에 직접 비산(飛散) 타격케 함으로써 재해를 입히게 되는 것이다. 이는 장약 부근에 사람이 위치하고 있을 때 비석 및 낙석이 발생되면 재해가 많이 일어남을 나타내고 있다. 왜냐하면 비석 및 낙석에 의한 사고는 발생 원으로부터 멀어질수록 급격히 안전해 지기 때문이다.

Table 1. The percentage and number of items in japanese blasting accident

항 목	년도별 건수											백분율 (%)		
	87	86	85	84	83	82	81	80	79	78	77		76	75
대피지연														0.69
불발(산류약, 회수중포함)	5		1			1	1	1						8.25
비석·낙석	6	6	8	8	16	19	19	30	27	33	33	34	42	64.45
신호·경계·연락불충분	1		4		2		1	1	2	1		3	2	3.90
장전작업중				3	2	4	1	2	6	6	2	3	4	7.57
주변화기(소각중포함)														0.00
누전						1						1		0.46
낙뢰														0.00
기타	2	2	6	3	1	3	7	7	8	11	6	4	4	13.53
총 계	14	8	19	14	22	30	29	46	50	53	45	50	56	100

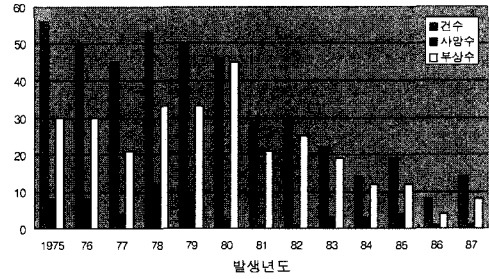


Fig. 1. The number of blasting accident, death and wounded persons of Japanese

이외에 불발 잔류약에 의한 경우가 8.25%, 장전작업 중 7.57%, 신호, 경계, 연락 불충분이 3.90% 순으로 나타났다. 그리고 연 평균 재해건수는 33.5건에 사망자는 4.54명, 부상자는 22.54명으로 나타났다(Fig. 1).

우리나라의 경우 경찰청과, 총포·화약 안전기술 협회자료⁷⁾에 의하면 1988년에서 1997년까지 10년간 발파사고건수는 매년 10건 이내로 발생하는 것으로 조사되었다(Table 2). 일본의 경우와 같이 발파사고원인으로는 비석·낙석에 의한 사고가 45.71%로써 가장 많은 비율을 차지하였으며, 그 다음이 장전작업중·주변화기(소각중포함)·누전·낙뢰(8.57%) 등이었다.

그러나 일본에 비해 우리나라는 대체적으로 발파사고에 따르는 사망자수가 증가하고 있음을 알 수 있다. 이것은 발파사고에 대한 중요성인식 및 사망자수의 증가에 따른 문제점 해결이 일본에 비해 낮고 관련단체 및 행정기관의 중·장기적인 대책이 마련되지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 누전이나 낙뢰 등에 의한 사고 역시 일본의 경우는 거의 없는데 비해 한국의 경우는 장전작업 중과 같은 두 번째로 많은 8.57%로 나타났다. 이는 뇌관과 같은 화약류 제품의 안정성이 떨어진다고 볼 수 있으며, 또한 주변환경에 대한 안전조치 및 시설이 불량하거나 미비했다고 볼 수 있다. 여기서 1993년도에는 발파사고 총 7건 발생에 사망자수 4명, 부상자수가 17명으로 나타났다(Fig. 2). 이것은 1993년도에 건설경기가 일시적으로 활성화됨에 따른 화약류 사용의 증가가 원인으로 보여진다. 그리고 일본의 경우와 같이 사망(29.6%) 등 중대재해비율이 한국에서도 높게 나타났으며, 비석 및 낙석에 의한 사고의 비율 또한 높게 나타난 것으로 판명되었는데 이것은 발파사고는 우선 비석 및 낙석사고를 최우선적으로 분석하여 원인분석 및 대책을 세워야 함을 보여준다.

Table 2. The percentage and number of items in Korean blasting accident

항 목	년도별 건수									백분율 (%)	
	97	96	95	94	93	92	91	90	89		88
대피지연											0.00
불발(장류약, 회수중 포함)											0.00
비석·낙석	6	4			2			2	1	1	45.71
신호·경계·연락불충분											0.00
장전작업중				1	2						8.57
주변화기(소각중포함)		1	1			1					8.57
누전		1			2						8.57
낙뢰			1					1			8.57
기타		1		2		2	1	1			20
총 계	6	7	2	3	7	3	1	4	1	1	100

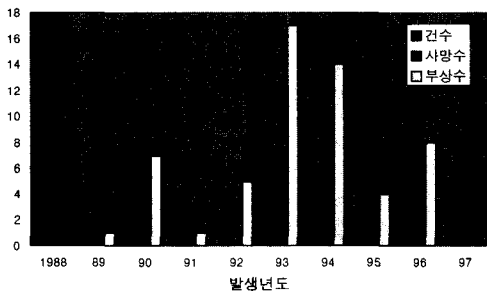


Fig. 2. The number of blasting accident, death and wounded persons of Korean

3. AHP기법에 의한 발파사고 분석

3.1. 평가특성의 설정

AHP는 1970년대 T.L. Satty에 의해 개발되었으며, 그 후 이 기법에 대한 많은 이론 및 응용연구가 진행되고 있다(Satty, 1980)⁸⁾.

AHP적용의 적정성과 관련하여 논란이 되고 있는 내용중의 하나는 평가자의 주관적 선호도를 수치로 변환하는데 사용되는 Saaty의 9점 척도에 관한 것이다(Harker and Vargas, 1987)⁹⁾.

Saaty는 몇 가지 실증적 예를 통하여 9점 척도의 적정성을 주장하고 있다. 그러나 평가척도의 선택은 경험적 또는 적절한 통계적 배경 하에서 이루어져야 하며, 임의의 적용례에서 우수하다고 해서 모든 경우에 적절한 것은 아니다(Olson, 1995)¹⁰⁾. 따라서 본 연구에서는 기존의 발파사고의 분석인 서승록과 이정훈(2001)²⁾의 FTA기법을 이용한 발파사고 분석에서 기본사상으로 요약되는 원인들에 대해서 AHP를 적용하였다. 여기에서는 발파사고의 재해분석이 현장의 특수성과 재료 및 제품의 비 일관성 때문에 그의 특성에 맞는 재해조사표의 필요로 발파작업의 안전사고와 관련하여 발파 사고의 기본 요인을 과거 발

Table 3. The basic cause due to FTA analysis

발파작업중 비석에 의한 사고			
1	장전작업 미비	13	안전방호 시설부재
2	결선작업미비	14	안전방호시설제거
3	점화미비	15	안전방호시설 파괴
4	안전지식결여	16	안전방호시설 미설치
5	안전수칙 미 준수	17	안전방호시설 부적합
6	나쁜 작업 습관	18	안전방호시설 불량
7	불안전위치	19	제품정전기
8	연락불충분	20	작업환경상정전기
9	작업지시착오	21	온도
10	조기접근	22	습도
11	사용중 부주의	23	누설전류
12	과조발	24	낙뢰

Table 4. Summary of evaluation standard

평가 항목	주항목	부항목	세부원인
발파작업중 비석에 의한 사고	비석발생 위치에 작업자 있음.	비석발생 가능한 위치	장전작업 미비 결선작업미비 점화미비 안전지식결여 안전수칙미준수 나쁜작업습관 불안전위치 연락불충분 작업지시착오 조기접근
		안전방호시설 결함	안전방호시설부재 안전방호시설제거 안전방호시설파괴 안전방호시설미설치 안전방호시설부적합 안전방호시설불량
비석 발생	비석 발생	비석 발생	장전작업미비 안전지식결여 안전수칙미준수 나쁜작업습관 사용중 부주의 누설전류 과조발 환경적요인 (온도습도등) 점화미비 제품정전기
		비석 발생	

파사고 사례와, 사고를 일으킬 가능성이 있는 요인을 포함하여 종합적으로 코드화하였는데 이러한 분류코드는 IAD(industrial accident dynamics)를 기준으로 개발된 체계를 이용하였으며(정기섭, 1994)⁵⁾, 크게 작업대상물에 따른 결함, 인적 결함, 환경적 결함 및 기타 관리·감독·교육에 따른 결함 요인으로 분류하였다. Table 3은 발파사고 분석을 위해 위와 같은 기준으로 개발된 재해조사표를 통해 화학 발파사고 중 가장 큰 영향을 미치는 발파작업 중에서 비석사고의 기본원인을 FTA기법을 통해 분석한

Table 5. The flown stones occurrence the weight decision regarding location which is possible

구 분	장전작업 미비	결선 미비	점화 미비	안전지식 결여	안전수칙 미준수	나쁜작업 습관	불안전한 위치	연락 불충분	작업지시 착오	조기 접근
장전작업미비	1	5	7	1/3	1/7	1/5	1/2	1	5	1
결선미비		1	1/4	1/8	1/9	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2
점화미비			1	1/5	1/7	1/6	1/3	1/3	1/2	1
안전지식결여				1	1/3	1/2	5	6	7	7
안전수칙미준수					1	4	6	7	7	7
나쁜작업습관						1	6	7	7	5
불안전한위치							1	1	2	3
연락 불충분								1	1/3	2
작업지시착오									1	1/2
조기접근										1
발생확률	0.067500	0.017683	0.025658	0.173844	0.326802	0.206434	0.063056	0.040142	0.032893	0.045987
$\lambda_{max} = 11.312100, \quad CI = 0.145789$										

Table 6. The weight decision regarding flown stones

구 분	장전작업 미비	안전지식 결여	안전수칙 미준수	나쁜작업 습관	사용중 부주의	누설전류	과조발	환경적 요인	점화미비	제품정전 기
장전작업미비	1	1/3	1/7	1/5	1/6	6	7	7	8	7
안전지식결여		1	1/3	1/2	1/3	5	7	7	8	8
안전수칙미준수			1	3	2	7	9	9	9	8
나쁜작업습관				1	1/3	5	5	7	8	7
사용중 부주의					1	7	8	8	9	9
누설전류						1	1/3	1	1/2	2
과조발							1	3	2	5
환경적 요인								1	1/3	1
점화미비									1	2
제품정전기										1
발생확률	0.090971	0.126385	0.281481	0.152938	0.236760	0.020986	0.034931	0.016501	0.023686	0.015363
$\lambda_{max} = 11.281840, \quad CI = 0.142426$										

Table 7. The weight decision regarding safety protection facility

구 분	안전방호시설 부재	안전방호시설 제거	안전방호시설 파괴	안전방호시설 미설치	안전방호시설 부적합	안전방호시설 불량
안전방호시설부재	1	5	3	1/3	4	7
안전방호시설제거		1	1/3	1/7	1/2	1/3
안전방호시설파괴			1	1/5	1	3
안전방호시설미설치				1	7	8
안전방호시설부적합					1	2
안전방호시설불량						1
발생확률	0.253449	0.039329	0.100972	0.473820	0.078612	0.053819
$\lambda_{max} = 6.321301, \quad CI = 0.064260$						

결과이다.(서승록과 이정훈, 2002)²⁾. 따라서 본 연구에서는 인적, 물적, 환경적 요소를 기준으로 개발된 사고조사표를 바탕으로 이미 1차적인 FTA분석을 통해 발파 비석사고에 영향력이 큰 요소들만을 상대로 AHP를 적용하였다. 왜냐하면 발파 비석사고의 분석 중 FTA기법에서 제외된 기본사상들은 실제 발파사고에서 무시해도 좋을 정도의 중요도를 가지고 있는 것으로 판단되며, 이는 한국의 지난 10년간 사고통계를 보더라도 중요성이 떨어진다고 판단되기 때문이다.

또한 AHP분석의 적용성을 높일 수 있도록 유사 기본사상은 통합하여 분석하였다. Table 4는 이러한 평가항목을 주 항목별, 부 항목별, 세부항목별로 분류한 것이다.

3.2. 평가특성에 대한 가중치 결정

본 연구에서는 발파현장에 경력이 최소 1년 이상인 유경험자 8명을 상대로 설문을 실시한 결과 일관성이 떨어지는 3명을 제외한 나머지 5명에 대한 자료를 바탕으로 상대적 중요도를 부여하였다.

Table 4를 기준으로 비석발생 가능한 위치에 대한 가중치를 결정한 결과는 Table 5과 같다. 여기서 $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.145789}{1.49} = 0.0978 \leq 0.1$ 이므로 일관성이 있는 것으로 나타났다.

여기에서 가장 높은 비율을 갖는 것은 안전수칙 미 준수로써 약 32.68%로 나타났으며, 다음으로 나쁜 작업습관이 20.64%로 나타났으며 안전지식에 대한 결여도가 17.38%로 나타났다.

Table 6은 비석발생에 대한 가중치 결정치를 나타낸 것으로 $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.142426}{1.49} = 0.0956 \leq 0.1$ 이므로 일관성이 있으며, 분석결과 안전수칙 미준수가 28.15%, 사용중 부주의 23.68%, 나쁜 작업습관 15.29%, 안전지식결여가 12.64%로 나타났다. 이것은 사고의 대부분이 천재지변이나 물적요인 보다는 인적요인에 의한 결과임을 나타낸다고 볼 수 있다.

Table 7은 안전방호 시설결함에 의한 가중치 결정을 나타낸 것이다.

일관성을 나타내는 $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.06426}{1.21} = 0.0531 \leq 0.1$ 로써 유효한 것으로 나타났다.

안전방호시설 미설치가 47.38%로 나타났으며, 안전방호시설 부재에 의한 것이 25.34%정도로 나타났다.

Table 8. Analysis method example of existing blasting accident

년도	발생일	발생장소	사고개요	피해	사고원인
97	3. 12	충북 청원군 강외면 공복리	골프장 공사현장의 암반발파중 안전주의 소홀로 돌이 비산하여 공사관리자의 머리에 맞아 사망.	사망1	안전수칙 미이행

4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 우리나라 발파사고현황에서 가장 중요한 비석에 의한 사고를 기존의 발파사고 조사표 및 FTA기법 적용 연구에서 나타난 기본사상을 중심으로 주 항목, 부 항목 및 세부항목으로 나누고 AHP기법에 유경험자의 상대적 중요도를 적용시켜 이를 계량화하였다. 즉, 비석발생 가능한 위치에 대한 10가지 항목, 비석발생에 대한 10가지 및 안전방호 시설결함에 대한 6가지 항목 등 총 26가지 항목에 대한 상대적 중요도를 구하였다. 이 결과는 기존의 경찰청에서 서술적으로 조사·분석을 하던 방식(Table 8) 및 FTA기법에 원인만을 구체화한 방법²⁾을 보완하여 비석사고에 대한 세부원인을 계량화함으로써 안전수칙 및 보안대책 등을 수립하는데 보다 정량적 자료라고 할 수 있겠다. 또한 단순히 발파사고에 대한 추측된 원인을 적용시킨 것이 아니라, 한국의 발파사고현황을 바탕으로 하였고, FTA기법에서 검증된 원인들에 대한 AHP기법 적용 결과이므로 보다 높은 신뢰성을 갖는다 하겠다.

본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 비석발생 가능한 위치에 대한 가중치에서 안전수칙 미준수가 32.68%, 나쁜 작업습관이 20.64%, 안전지식결여가 17.38%, 장전작업미비가 6.75%, 불안정한 위치가 6.31%, 조기접근이 4.60%, 연락불충분이 4.01%, 작업지시 착오가 3.29%, 점화미비가 2.57%, 결선미비가 1.77%로 나타났다. 상위 우선순위 세 가지 항목은 모두 인적원인에 해당하는 요소로써 상대적 중요도는 70%를 상회하는 것으로 나타났다.

둘째, 비석발생에 대한 가중치에서는 안전수칙 미준수 28.15%, 사용중 부주의 23.68%, 나쁜 작업습관 15.29%, 안전지식 결여가 12.64%, 장전작업 미비가 9.10%, 파조발이 3.49%, 점화미비가 2.37%, 누설 전류가 2.10%, 환경적 요인이 1.65%, 제품정전기 1.54%로 각각 나타났다. 여기에서도 인적원인이 상

대적으로 높은 중요도를 차지하는 것으로 나타났으며 상위 우선순위 두 가지 항목이 차지하는 중요도는 50%를 상회하였다.

셋째, 안전방호시설결함에서는 안전방호시설 미설치 47.38% 안전방호시설부재 25.34%, 안전방호시설파괴가 10.10%, 안전방호시설 부적합이 7.86%, 안전방호시설 불량이 5.38%, 안전방호시설 제거가 3.93%로 나타났다.

5. 결 론

화약류 사용에 따른 사고는 발생 시 다른 사고에 비해 에너지가 월등히 높은 각종 폭약이나 화약을 사용하므로 사고발생 전 예방대책이 무엇보다 중요하다 하겠다. 이에 본 연구에서는 화약류 사고 중 일본 및 우리나라에서 공통적으로 가장 많은 재해 원인인 발파사고 중 비석에 의한 사고를 중심으로 이에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 원인을 AHP기법을 적용하여 각 원인에 대한 발생가능성의 상대적 중요도를 분석하였다.

AHP분석 결과 화약류 사고 가능성의 대부분은 인적원인에 의한 사고로 나타났으며, 이것은 건설분야 및 기타 산업과 다르지 않음을 알 수 있다. 즉 안전수칙 미 준수 및 나쁜작업습관 등 인적원인에 의해 발생할 수 있는 발파사고의 가능성을 최대한 예방할 수 있는 대책이 강구되어야 한다고 하겠다.

따라서 본 논문은 발파사고에 대한 연구가 미진한 우리나라 실정에서 발파현장실정에 맞는 안전대책 수립의 기본적인 자료 제공을 하였으며 사고의 예방대책을 수립함에 있어 발파작업에 임하는 작업자 및 관리자 등의 인적인 원인에 우선적 초점을 둘 수 있도록 하는 좋은 판단자료라고 사료된다.

향후 연구방향으로는 발파사고에 대부분의 영향을 미치는 인적원인이 진동 및 소음에 노출이 많은 발파현장의 특수성과 어떠한 관계가 있는 것인가에

대한 연구가 필요하다고 하겠다.

감사의 글 : 본 논문은 2002년도 대구대학교 학술연구조성비에 의하여 수행되었음.

참고문헌

- 1) 김정진, 「신.발파핸드북」, 원기술, pp. 63, 5~641, 1993.
- 2) 서승록, 이정훈, "Fault Tree Analysis 기법을 이용한 발파사고 분석", 대한인간공학회지, 제20권, 제2호, pp. 61~76, 2001.
- 3) 원연호, 이익주, 이상현, "뇌판의 정밀성 및 안정성에 관한 연구", 대한화약기술학회, 화약발파 제18권, 제2호, pp. 23~35, 2000.
- 4) 이상도, 이병근, "계층분석모형에 의한 안전조직의 평가", 대한인간공학회지, 제9권, 제2호, pp. 47~54, 1990.
- 5) 정기섭, FTA를 이용한 산업재해 분석. 숭실대학교 산업대학원 석사학위논문. 1994, 12.
- 6) 조훈희, 강경인, 서덕석, "AHP를 이용한 작업분석 평가기법에 관한 연구", 대한건축학회, 제17권, 제2호, pp. 1423~1430, 1997.
- 7) 총포·화약 안전기술협회, 발파사고재해자료, 1988~1997.
- 8) Saaty, T. L, "The Analytic HierarchyProcess", McGraw-Hill, Inc., pp. 1~87. 1980.
- 9) Harker, P. T. and Vargas, L. G, "The Theory of Ratio Scale Estimation": Saaty's Analytic Hierarchy Process, Management Science, Vol. 33, No.1, pp. 1383~1403, 1987.
- 10) Olson, D. L, et al, "Comparison of the REMBRANDT System with Analytic Hierarchy Process", European Journal of Operational Research, Vol. 82, pp. 552~539, 1995. 노동부, 1999년 노동재해 통계, 2000.