

화약류작업에서 인적오류에 대한 분석

이정훈¹⁾, 안명석, 김종현²⁾

An Analysis of Human Errors in Gun Powder Jobs.

Jung-Hoon Lee, Myung-Seok Ahn and Jong-Hyun Kim

ABSTRACT. The using of Gun powders are getting grower than grower due to the road opening, tunnel digging, the highest building, the ground digging on the construction industry, it also happen blasting accident as well, and it become society issue more than more. In this study, The check list for the human cause of the most rate among the blasting accident was developed in availing of accident investigation chart for the analysis of the blasting accident of already developed and FTA technique analysis with the analysis systematically of blasting accident. And then, Analysis for the application was carried out in construction cite, availing of the check list. As results, The most error has broken out at charge work, an uncomfortable processes, among the blasting work. Thus, It is a matter for consideration with improvement work

Key word : Gun powders accident, Check list, Human cause, Human error.

초 목. 건설현장에서 도로개설, 터널굴착, 시가지 고층건물 지하굴착 등으로 화약류의 사용은 날로 증가되고 있으며, 이로 인한 화약류의 사고도 비례하여 증가하고 있어 점차 사회문제화 되고 있다. 본 연구에서는 이미 개발된 발파사고의 분석에 필요한 사고조사표와 이를 이용하여 발파사고를 체계적으로 분석한 FTA기법 분석에서 발파사고 중 가장 많은 비율을 차지하는 인적원인에 대한 체크리스트를 개발하였으며, 이를 이용한 현장에서의 적용에 대한 분석을 실시하였다. 그 결과 발파작업 중 가장 힘들고 불편한 공정인 장전작업에서 가장 많은 오류가 발생하였으므로 이에 대한 개선 작업에 관심을 기울여야 할 것으로 생각된다.

핵심어 : 화약류사고, 체크리스트, 인적원인, 인적오류.

1. 서 론

1970년대 이후 산업의 고속성장과정에서 야기된 부실시공과 안전 경시풍조가 사회 전반에 만연되었고, 1980년대부터는 대단위 터널 굴착과 지하철 및 대형 빌딩의 건설이 급증함에 따라 안전사고에 따른 재해도 다양해지고 대형화되고 있는 추세임에도 불구하고 안전에 대한 불감증은 크게 줄어들지 않는 실정이다.

특히, 건설토목현장에서의 IMF이후 낮은 수익률로 인해 직원들의 사기저하 및 동일한 종류의 재해가 반복해서 발생되고 있으며, 화약제조공장 역시 화약제조량의 증가와 함께 대형화, 다양화되고

있는 추세이다.

우리나라에서 화약이 최초의 산업용도로 쓰여진 것은 1890년경 경상남도 마산에서 일본인이 채광에 흑색화약을 사용하면서부터이며, 그 후 1940년 인천에 조선유지주식회사 인천화약공장을 건설하여 다이내마이트와 뇌관과 도화선을 생산하였으며, 해방 후 1952년에 (주)한화에 불하됨으로써 민간 화약제조공장으로 산업현장에 본격 진출하였다. 1968년에 ANFO가 생산되었고, 1977년에 도심지 발파용인 미진동쇄괴기(CCR)가 생산 공급되었고, 1981년에는 (주)한화에서 정밀폭약과 슬러리폭약(O/W형)이 공급되었으며, 1993년에는 (주)고려노벨화약에서 에멀전폭약(W/O형)을 공급하기 시작하였다.(안명석등, 2000)

현재 뇌관의 연간 사용량은 70년대 2천여발 수준에서 80년대 3천5백만 발로 증가하였으며, 90년

1) 대구대학교

2) 동서대학교

접수일 : 2004년 9월 13일

대에는 약 4천여만 발로 그 생산량이 증가하였다 (원연호등, 2000). 이러한 화약제조량 및 사용량 증가에 따른 발파사고의 재해는 매우 불규칙하기 때문에 예측이 까다로우며, 현장실험도 어렵다.

통상 안전사고의 재해조사는 산업안전보건법에서 제시되고 있는 산업재해조사표를 이용하거나 자체적으로 만든 사고조사표를 이용하고 있으나, 발파사고와 같은 특수 분야의 사고는 그의 특성에 맞는 재해조사표가 필수적이다.

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.

따라서 본 연구에서는 이미 개발된 발파사고의 분석에 필요한 사고조사표 및 이를 이용하여 발파사고를 체계적으로 분석한 FTA 및 AHP기법 분석에서 발파사고 중 가장 많은 비율을 차지하는 인적원인에 대한 체크리스트 개발하고, 이를 이용한 현장에서의 적용에 대한 분석을 실시하고자 한다.

2. 인적원인에 대한 체크리스트 개발

건설현장에서 가장 널리 사용되고 있는 화약작업은 그 형태에 따라 터널발파와 벤치발파로 나눌 수 있는데 본 연구에서는 가장 사용 빈도가 높은 것 중 하나인 벤치발파현장에서 수평공을 중심으로 한 전기발파에서의 작업오류율을 측정하였다. 이를 위해 작업자의 작업상태를 각기 다른 20군데의 현장비디오촬영을 하였다. 촬영은 작업내용을 전반적으로 파악할 수 있도록 작업방법, 작업내용, 작업도구, 신체활동의 부담정도 등을 파악할 수 있도록 하였다. 현장화약작업은 크게 천공 및 공청소, 장약 및 전색, 결선·도통·저항측정, 경계원배치 및 발파, 발파 후처리 작업으로 나눌 수 있다.

한국산업안전공단의 KOSHA CODE C-11-2002의 발파공사 표준안전 작업지침과 KOSHA CODE C-9-2003의 터널공사의 표준안전 작업지침에는 전

기발파에 대한 장전·전색, 결선·도통·저항시험, 경계원배치·발파에 대한 안전지침이 규정되어 있다. 이를 기준으로 인적원인에 해당하는 항목을 추출한 후 체크리스트를 개발한 것이 표 1이다.

표 1. 인적오류에 대한 체크리스트

작업	항목	
천공·공청소	1. 점보드릴, 레그햄머 등 착암기의 기계적 결함을 사전에 점검하여야 하며 파손, 이완, 성능저하 등의 경비는 교체하였는가?	
	2. 작업대 또는 대차는 구조적으로 안전하여야 하며 차륜, 지지구조, 발판, 사다리, 안전난간 등의 가시설 구조에 대하여는 안전성을 확인하였는가?	
	3. 천공작업자에게는 안전모, 마스크, 보안경, 안전장갑, 귀마개 등의 개인보호구를 지급하여야 하며 관리감독자는 이의 착용을 확인하였는가?	
	4. 천공작업전 부식, 절리, 용출수, 누수 등의 상태를 확인하여야 하며 필요시 모암 절리방향의 상세도면을 작성하여 그 기록을 정리 보관하였는가?	
	5. 천공작업중 이상 용출수의 다량 발생시 작업을 중지하고 긴급 방수대책을 실시하여야 하며 상부 수직시추 및 수평시추를 실시하여 채수대 여부를 확인후 적절한 보강공법 및 공법변경 등의 조치를 취하였는가?	
	6. 설계, 시방기준에 의한 천공위치, 각도, 깊이 등을 준수하고 장악전에 이를 확인하였는가?	
	7. 천공시에는 전번의 발파공을 이용하여서는 안되며, 최소 이격거리를 유지하여 평행굴착을 하는가?	
	8. 천공시에는 전 발파시 불발화약류의 유무를 확인하고 이상 발견시 즉시 천공작업을 중단하고 이를 제거한 후 작업하는가?	
	9. 천공의 지름은 폭약효과 및 폭력기준으로 가능한 한 작은 것이 좋으나 폭약을 장진할 때 무리하게 쑤셔 넣으면 위험하므로 폭약 직경보다 크게 하는가?	
	장전·전색	1. 폭약을 장진할 때는 발파구멍을 잘 청소하며 이 때 공저까지 완전히 청소하여 작은 돌 등을 남기지 않았는가?
		2. 천공작업이 완료된 후 정작작업을 실시하여야 하며 천공·장약의 동시작업을 하지 않았는가?
		3. 장약봉은 폭바르고 웅이가 없는 폭재 등 부도체로 하고 장진구는 마찰, 정전기 등에 의한 폭발의 위험성이 없는 절연성의 것을 사용하였는가?
		4. 약포는 1개씩 신중히 장약봉으로 집어넣고 사전에 측정된 폭약의 길이와 천공길이의 차를 절정하면서 약포간의 빈틈이 없도록 하였는가?
		5. 포장에 없는 화약이나 폭약을 장진할 때에는 화기의 사용을 금하고 근접한 곳에서 흡연하는 일이 없도록 하였는가?
6. 약포를 발파공 내에서 강하게 압착하지 않았는가?		
7. 장진물에는 종이, 솜 등을 사용하지 않았는가?		
8. 충진제는 점토, 모래 등을 비벼 사용하고 작은 돌을 사용하지 않아야 하며 처음에는 느슨하게 하고 점차 단단하게 하여 구멍 입구부위까지 채웠는가?		
9. 전기노련을 사용할 때에는 전선, 모터 등에 걸리지 않도록 하였는가?		

	10. 전기누전과 정전기를 탐지 및 측정하였는가?
	11. 모든 지발식 발파작업에는 지발식 전기뇌관을 사용하여야 하며 시간 고려가 잘 되어 있는지 점검하였는가?
	12. 동력기계(소형 브레이커, 씹커 등)는 장전공으로부터 15m 이내에서 사용하지 않았는가?
	13. 작업전, 작업중엔 맨손을 가름 지면에 대어 신체의 정전기를 제거하였는가?
	14. 각선이나 보조오선을 묶지 않았는가?
결선·도 용·지항 측정	1. 레이다, 무선송수신 시설 또는 실험결과 머주전류가 전기 발파 작업에 위험을 미칠 우려가 있을 경우 전기뇌관을 사용할 때에는 오선을 회로에 연결시킬 때까지 단락해 두었는가?
	2. 발파오선의 한쪽 끝은 정화할 때까지 발파기(점화기)에서 떼어놓고 전기뇌관의 각선에 연결하는 다른 끝의 심선은 단락을 막도록 하였는가?
	3. 발파보조 오선은 가능한 한 굵고, 파복이 안전하며 절연도가 높은 것을 사용하고, 몇 개의 선을 이은 것 또는 지나치게 긴 것은 저항이 크게 되므로 사용하지 않도록 하였는가?
	4. 수중발파에 사용하는 전기뇌관의 각선은 미리 그 필요한 길이로 산정하고 수중에서 결선하는 개소로 가능한 한 적게 하였는가?
	5. 발파오선과 뇌관회로를 연결하기 전에 오선의 단선이나 단락여부를 확인하였는가?
	6. 발파오선의 양쪽 끝을 저항측정기로 측정하여 규정 저항이 나타나지 확인하여 오선 분리시 무한대 저항이 나타나지 않으면 오선의 손상, 절연변량, 파손 등 불량원인을 조사 및 보수 후 사용하였는가?
	7. 전기뇌관은 1개씩 저항을 측정하고, 소정의 저항치(오차 ±0.1Ω)를 확인한 다음 약포에 설치하여야 하며 작업중에는 항상 각선의 양단을 단락해 두었는가?
	8. 점화장소에서 발파현장까지의 주 통로에는 철제기재 등 장애물을 두지 않도록 하고, 동행에 방해가 되지 않도록 배선하여야 하며 경내의 측벽에 닿아대는 등 안전조치를 하였는가?
	9. 결선작업 후 모든 회로의 전기저항을 측정하여 소정의 저항이 있는지 여부를 확인하였는가?
	10. 도통시험 또는 저항측정은 화약류를 장전한 장소로부터 30m 이상 떨어진 장소에서 실시하였는가?
	11. 저항측정에서 소정의 저항치가 나타나지 않는 경우에 그대로 다음 작업에 들어가지 않았는가?
경계원배 차·발파	1. 발파기는 제조업자의 지시대로 유지, 관리 및 사용하여야 하며 사용 전·후에 주기적으로 시험, 검정을 하였는가?
	2. 전기뇌관을 사용하는 발파는 전기발파기나 지정된 동력장치에 의해 점화되었는가?
	3. 전기발파기의 손잡이는 점화할 때를 제외하고는 고정식 시건장치로 하고, 이할식은 발파작업 책임자가 직접 휴대하였는가?
	4. 발파기 및 건전지는 건조한 곳에 두고 사용전에 기동력을 확인하였는가?
	5. 발파 후 즉시 발파기의 두 스위치 사이의 전선을 분리시키고 스위치는 폐쇄위치에 두고 봉쇄하였는가?
	6. 동력선, 동시방, 편의시설 및 기타 구조물 부근에서 발파작업을 할 때에는 그 시설의 소유자나 사용자에게 통고하여 안전한 통제조치를 취한 후 발파작업을 하였는가?

	7. 발파기는 발파책임자만 취급할 수 있도록 보관하여야 하며, 발파기에 오선의 연결은 발파작업책임자의 지휘에 따르는가?
	8. 발파 스위치 열쇠는 항상 발파작업책임자가 소지하였는가?
	9. 발파를 위하여 동력회로선에서 전력을 공급할 경우 전압이 550V를 초과하지 않았는가?
	10. 발파오선을 적당한 치수 및 용량의 절연된 도전선을 사용하였는가?
	11. 점화장소는 발파현장에서 충분한 안전거리를 유지하고 동시에 물기가 있는 장소와 출관, 레일 등이 있는 장소로부터 상부로부터의 낙석 등 위험이 없는 장소를 선정하였는가?
발파후 처리	1. 화약폭발이 되지 않았거나 폭발여부확인여 근란할 때에는 발파오선을 점화기에서 분리한 후로부터 5분 경과한 후에 현장점검을 시켰는가?(대발파의 경우 30분 경과 후)
	2. 불발시 공으로부터 60cm이상 이격하여 수평천공하고 발파하여 처리하였는가?
	3. 불발화학 발생시 교대시에 불발공에 대한 확실한 식별표시를 하였으며, 인수인계를 확실히 하였는가?
	4. 전선 및 기타 기재는 확실히 수납하였는가?
	5. 불발공 발생시 범규를 준수하고, 처리규정이 없을 때 한시간 이상 대기 후 다음 처리를 하였는가?
	6. 불발시 저항측정기를 사용하여 불발공의 회로값 점검하고 이상이 없으면 발파회로에 다시 연결하여 재발파하였는가?(불발공 단락시 압축공기나 물로 제거하고 기록약포를 재장전하여 발파하였는가?)
	7. 불발공으로부터 회수한 뇌관이나 폭약은 모두 제조업자의 시방에 따라 처리하였고 임의로 매립하거나 폐기하지 않았는가?
	8. 불발원인을 조사할 때 원인을 철저히 규명하여 이를 기록하고 불발방지 대책을 수립하였는가?

3. 체크리스트에 따른 현장작업의 인적 오류 분석

인적원인에 해당하는 체크리스트를 바탕으로 20군데의 현장Video를 통해 실제작업시 작업별로 지켜지지 않고 있는 빈도수 및 비율을 나타낸 것이 표 2 이다. 본 연구에서는 기계작업이 많이 들어가는 천공 및 발파 후처리 등의 작업보다는 인력에 의존하는 장전·전색, 결선·도통·저항측정, 경계원배치·발파 작업 등을 중심으로 Video를 촬영한 후 체크리스트를 통해 인적 오류를 평가하였다.

표 2 인적오류에 대한 체크리스트 및 빈도수와 비율

작업	항목	지키지 않은 빈도수 및 비율(%)
장전 전색	1. 폭약을 장전할 때는 발파구멍을 잘 청소하며 이 때 공저까지 완전히 청소하여 작은 돌 등을 남기지 않았는가?	9(45)
	2. 천공작업이 완료된 후 장약작업을 실시하여야 하며 천공 장약의 동시작업을 하지 않았는가?	4(20)
	3. 장약봉은 똑바르고 용어가 없는 족재 등 부도체로 하고 장전구는 마찰, 정전기 등에 의한 폭발의 위험성이 없는 절연성의 것을 사용하였는가?	49(20)
	4. 약포는 1개씩 신중히 장약봉으로 집어넣고 사전에 측정된 폭약의 길이와 천공깊이의 차를 점검하면서 약포간의 빈틈이 없도록 하였는가?	3(15)
	5. 포장이 없는 화약이나 폭약을 장전할 때에는 화기의 사용을 급하고 근접한 곳에서 흡연하는 일이 없도록 하였는가?	10(50)
	6. 약포를 발파공 내에서 강하게 압착하지 않았는가?	12(60)
	7. 장전물에는 종이, 솜 등을 사용하지 않았는가?	1(5)
	8. 충전제는 정도, 모래 등을 비벼 사용하고 작은 돌을 사용하지 않아야 하며 처음에는 느슨하게 하고 점차 단단하게 하여 구멍 입구 부위까지 채웠는가?	9(45)
	9. 전기뇌관을 사용할 때에는 전선, 모터 등에 접근하지 않도록 하였는가?	3(15)
	10. 전기누전과 정전기를 탐지 및 측정하였는가?	19(95)
	11. 모든 자발식 발파작업에는 자발식 전기뇌관을 사용하여 하며 시간 고려가 잘 되어 있는지 점검하였는가?	7(35)
	12. 동력기계(소형 브레이크, 펌프 등)는 장전공으로부터 15m 이내에서 사용하지 않았는가?	2(10)
	13. 작업전, 작업중에는 맨손을 가짐 지면에 대어 신체의 정전기를 제거하였는가?	19(95)
	14. 각선이나 보조모선을 훑지 않았는가?	8(40)
소계		110(39.3)
결선도 동지항 측정	1. 레이더, 무선송수신 시설 또는 실험결과 미주전류가 전기발파 작업에 위험을 미칠 우려가 있을 경우 전기뇌관을 사용할 때에는 모선을 최후에 연결시킬 때까지 단락해 두었는가?	2(10)
	2. 발파모선의 한쪽 끝은 정확할 때까지 발파기(정화기)에서 떼어놓고 전기뇌관의 각선에 연결하는 다른 끝의 심선은 단락을 막도록 하였는가?	6(30)
	3. 발파보조 모선은 가능한 한 굵고, 피복이 안전하며 절연도가 높은 것을 사용하고, 몇 개의 선을 이은 것 또는 지나치게 긴 것은 저항이 크게 되므로 사용하지 않도록 하였는가?	5(25)
	4. 수중발파에 사용하는 전기뇌관의 각선은 미리 그 필요한 길이를 산정하고 수중에서 결선하는 개소를 가능한 한 적게 하였는가?	1(5)
	5. 발파모선과 뇌관회로를 연결하기 전에 모선의 단선이나 단락여부를 확인하였는가?	6(30)

	6. 발파모선의 양쪽 끝을 저항측정기로 측정하여 규정 저항이 나타나지 확인하여 모선 분리시 무한대 저항이 나타나지 않으면 모선의 손상, 절연불량, 파손 등 불량원인을 조사 및 보수 후 사용하였는가?	13(65)
	7. 전기뇌관은 1개씩 저항을 측정하고, 소정의 저항치(오차 ±0.1Ω)를 확인한 다음 약포에 설치하여야 하며 작업중에는 항상 각선의 양단을 단락해 두었는가?	14(70)
	8. 정화장소에서 발파현장까지의 주 통로에는 철재기재 등 장애물을 두지 않도록 하고, 통행에 방해가 되지 않도록 배선하여야 하며 광내의 측벽에 달아내는 등 안전조치를 하였는가?	5(25)
	9. 결선작업 후 모든 회로의 전기저항을 측정하여 소정의 저항이 있는지 여부를 확인하였는가?	6(30)
	10. 도통시험 또는 저항측정은 화약류를 장전한 장소로부터 30m 이상 떨어진 장소에서 실시하였는가?	1(5)
	11. 저항측정에서 소정의 저항치가 나타나지 않는 경우에 그대로 다음 작업에 들어가지 않았는가?	1(5)
	12. 불량개소가 발견되지 않으면 소정의 광전자식 도통시험기로 개개의 전기뇌관의 도통 시험을 실시하였는가?	8(40)
소계		68(28.8)
경계면 배차발파	1. 발파기는 제조업자의 지시대로 유지, 관리 및 사용하여야 하며 사용 전·후에 주기적으로 시험, 검정을 하였는가?	4(20)
	2. 전기뇌관을 사용하는 발파는 전기발파기나 지정된 동력장치에 의해 정화되었는가?	0(0)
	3. 전기발파기의 손잡이는 정확할 때를 제외하고는 고정식 시건장치를 하고, 이탈식은 발파작업 책임자가 직접 휴대하였는가?	6(30)
	4. 발파기 및 건전지는 건조한 곳에 두고 사용 전에 가동력을 확인하였는가?	13(65)
	5. 발파 후 즉시 발파기의 두 스위치 사이의 전선을 분리시키고 스위치는 폐쇄위치에 두고 봉쇄하였는가?	0(0)
	6. 동력선, 통신망, 편의시설 및 기타 구조물 무근에서 발파작업을 할 때에는 그 시설의 소유자나 사용자에게 통고하여 안전한 통제 조치를 취한 후 발파작업을 하였는가?	3(15)
	7. 발파기는 발파책임자만 취급할 수 있도록 보관하여야 하며, 발파기에 모선의 연결은 발파책임자의 지휘에 따랐는가?	7(35)
	8. 발파 스위치 열쇠는 항상 발파책임자가 소지하였는가?	7(35)
	9. 발파를 위하여 동력회로선에서 전력을 공급할 경우 전압이 550V를 초과하지 않았는가?	0(0)
	10. 발파모선을 적당한 치수 및 용량의 절연된 도전선을 사용하였는가?	3(15)
	11. 정화장소는 발파현장에서 충분한 안전거리를 유지하고 동시에 물기가 있는 장소와 철관, 레일 등이 있는 장소를 피하며 상부로부터의 낙석 등 위험이 없는 장소를 선정하였는가?	4(20)
소계		47(21.4)

여기에서 인적원인에 해당하는 작업오류는 장전 작업(39.3%)과 결선·도통·저항측정작업(28.8%), 경계원배치·발파작업(21.4%)등으로 나타났다.

4. 결 론

화약류작업에서 인적오류는 결국 커다란 물적손실 및 인적손실을 가져온다. 이에 본 연구에서는 화약류를 사용한 발파작업시 인적오류에 대한 체크리스트를 개발하였으며, 이를 기준으로 인적오류를 분석한 결과 장전작업에서 가장 많은 오류가 발생하였고, 결선·도통·저항측정작업 및 경계원배치·발파작업 순으로 나타났다. 이는 여러 가지 원인이 있겠으나 장전작업은 화약류작업상 가장 힘들고 불편한 작업이어서 작업자의 근도(近道)반응 또는 생략작업이 많아서 나오는 결과라고 추측된다. 그러므로 향후 연구에서는 화약류를 사용한 현장작업에서 작업불편도가 많이 발생하는 작업선정과 실제 발생하는 작업불편도를 평가하고, 생체부담의 척도가 되는 근육의 피로도를 측정하여 작업개선을 제시할 수 있는 연구가 필요하다 하겠다.

참 고 문 헌

1. 김희창, 안명석, 김종현, 2000, 화약 및 화공품의 역사와 향후 전망에 관한 연구, 화약발파, Vol. 18, No. 3, pp. 11~13.
2. 허진, 안명석, 1987, 안전한 불꽃놀이를 위한 고찰, 기술사회지, Vol. 20, Mar, pp. 21~26.
3. 안명석, 1987, 화약산업의 재해분석 및 안전대책에 관한 연구, 동아대학교 경영대학원 석사학위논문.
4. 총포·화약안전기술협회, 1988~1997발파사고 재해자료.
5. 정기섭, 1994, FTA를 이용한 산업 재해분석, 숭실대학교 산업대학원 석사학위논문.
6. 이정훈, 안명석, 류창하, 2004, FTA기법을 이용한 발파사고 분석에 관한 연구, 화약·발파, pp. 45~56.
7. 김재극, 1992, 산업화약과 발파공학, 서울대학교 출판부, pp. 24~40.
8. 기경철, 1997, 암반내 지압계측과 이를 응용한 채굴광주의 설계, 강원대학교 대학원 공학박사논문.
9. 이정인, 임한욱, 1995, 국내외 엔지니어링 발파의 기술발전과 응용, 한국자원공학회 최신 엔지니어링 발파특별심포지움 논문집, pp. 217~237.
10. Dowding, C.H., 1984, Blast Vibration monitoring and control, Northwestern University.
11. Fusel, J. B, R. G. Benetts, and G, J powers, 1974, Fault Tree-A State of the art discussion, IEEE Trans. on Rel., Vol. R-3, April, pp. 20~23.
12. Howard, E. L., George Yadigaroglu, 1997, Fault Tree for Diagnosis of System Fault Condition, Nuclear Science and Engineering, pp. 20~34.
13. Isograph Limited, 1999, Fault Tree+ v9.0.
14. KOSHA CODE C-11-2002 발파공사 표준안전 작업지침 한국산업안전공단.
15. KOSHA CODE C-9-2003 터널공사 표준안전 작업지침 한국산업안전공단.
16. Steven A. and J Lapp Garry, 1977, Powers, Computer Aided Synthesis of Fault Tree, IEEE Transaction on Reliability, April, pp. 2~15.