

FTA 기법을 이용한 아파트 갱폼작업의 효율성 분석

손기상[†] · 김시억^{*}

서울산업대학교 안전공학과 · 현대건설
(2002. 1. 22. 접수 / 2002. 3. 15. 채택)

Analysis of Efficient Investment for Apartment Gang Form Work by FTA Technique

Ki-Sang Son[†] · Si-Ok Kim^{*}

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology
^{*}Hyundai Engineering & Construction Corporation
(Received January 22, 2002 / Accepted March 15, 2002)

Abstract : In this thesis using FTA technique, the author proposes a new method of analysis of some accidents in construction work. Some efficient plans of safe facility investment are made out. For this study, I referred to 'The Death Accident in Construction Works', which have been published by Korea Industrial Safety Corporation from 1993 to 1999 for 6 years. I selected some of apartment constructions which have caused many deaths for the purpose of analysis in the study. I found that the concrete work using ferro-deck takes more deaths than the conventional construction. After finding this, I selected GANG FORM works using ferro-concrete, which is the most widely used but causes many accidents. On the basis of the classification, I try to do some quantitative analyses by adding the death frequency and material factors. In order to draw up the most efficient investment plan, it is imperative that FT diagram be made out and that Minimal Cut Set be needed. It requires a great deal of labor and time to get Minimal Cut Set. The Minimal Cut Set which is formed of these process is the main factor to analyze disaster in the work. It is desirable that we add calculated percentage of accidents to these factors in value order, that is to say, from the high cost to low cost.

Key Words : gang form, FTA, FT diagram, minimal cut set, disaster, efficient investment

1. 서 론

건설현장에서 재해를 예방하고자 하는 본격적인 노력을 강구했던 때가 산업안전보건법이 만들어진 1980년대 초라 볼 때, 작업장의 재해를 예방하고자 하는 노력은 정부뿐만 아니라 사업주, 근로자가 혼연 일체가 되어 노력했음은 누구나 부인할 수 없는 주지의 사실일 것이다. 일선 현장에서 아직도 재해의 주 요인이 근로자의 불안정한 행동임을 인식하고 그에 대한 대책을 대부분 안전교육 측면에서 찾고 있는 실정이다. 하지만 재해는 줄어들지 않고 오히려 더 늘어나는 추세에 있어 새로운 대책 마련이

시급히 요구되어진다. 또한 지금의 동종재해나 유사 재해를 예방하는 측면에서 실시하는 재해분석방법은 일반적이고 형식적인 면에 치우치고 있어, 실제적으로 재해예방에 크게 도움이 되지 않는다. 비록 늦었지만 건설업에 현장실정에 맞는 새로운 재해분석 방법을 제시할 필요가 있다.

본 연구는 이러한 취지에 맞춰, 재해요인의 가장 직접적 요인인 '불안정한 행동과 상태가 접촉되어야 사고가 발생된다'는 기본적인 Heinrich의 재해이론에 바탕을 두고, 재해요인의 88%인 불안정한 행동보다 10%인 불안정한 상태에 초점을 맞춰보았다.

불안정한 행동은 상황에 따라 예측 불가능하고 올바른 행동을 이끌어내기엔 시간적으로 많은 투자를 해야 하기에 체계적인 재해예방이 어려우므로 작업시 인간이 예측하기 어려운 불안정한 행동을 해

[†]To whom correspondence should be addressed.
ksson@duck.snut.ac.kr

도 사고로 연결되지 않는 근본적 예방방법을 찾고자 한다. 사고란 '불안전한 행동이 불안정한 상태와 반드시 접촉이 되어야만 발생된다'는 단순한 논리에 비추어 볼 때, 불안정한 상태를 제거한 안전한 상태야말로 안전작업을 수행하는 지름길이 되는 것이다. 작업 전 적절한 안전시설물 설치 조치는 바로 안전 관리자가 해야 할 주업무인 것이다. 효과적인 시설 투자를 하기 위해선 철저한 재해분석이 필요하다. 체계적 재해분석을 위해 과학적 원인분석기법인 FTA(Fault Tree Analysis) 기법을 적극적으로 활용해 건설공사 시스템에서 재해발생 주요인인 Minimal Cut Set을 제시하여야 한다. 이 방법을 활용하기 위해 건설업종에서 가장 많은 재해가 발생되고 있는 아파트 공사를 선택하였고, 사망재해를 '93-'99년까지 분석해 보았다. 그 중 가장 많은 재해가 발생하는 위험공종에서 최근에 많이 사용되고 재해가 빈발하고 있는 'Gang Form 작업'을 모델로 선정하였다.

Gang Form 작업 공정과정에서 발생가능한 모든 고장(사고)을 찾아 작업공정과정에 분류하고, 정량적 분석을 통해 Minimal Cut Set을 찾아 사고 우선순위를 결정했다. 그 우선 순위에 따라 집중적 안전시설물을 설치하도록 제시하는 것이 본 연구의 목적이며 취지라 하겠다.

2. 재해분석 방법의 이론적 고찰

재해라는 것은 국제노동기구(International Labour Organization : I.L.O)의 정의에 의하면 「사람이 물체나 물질 또는 타인과 접촉하였거나, 작업조건에 놓여짐으로써 또는 사람의 동작으로 인하여 사람의 상해를 동반하는 사건이 일어나는 것을 말한다」^{12,10)}라고 규정하고 있다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이^{11,12)} 재해로 사람이 다치는 경우는 물적요인과 인적요인이 서로 접촉되어야만 발생하게 된다. 다시 말하면 가로로 빗금친 부분을 물적요인이라 볼 때, 이 물만의 원인으로 재해

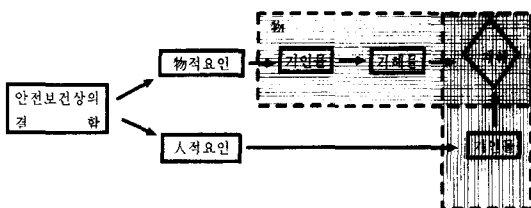


Fig. 1. Structure of accident occurrence and the cause

가 될 수 없고 새로 빗금친 부분을 인적요인이라 볼 때, 이 부분만 존재해서는 재해는 발생할 수가 없는 것이다. 반드시 재해가 발생하려면 이 두 요인이 서로 동시에 접촉해야만 발생하는 것이라 볼 수 있다.

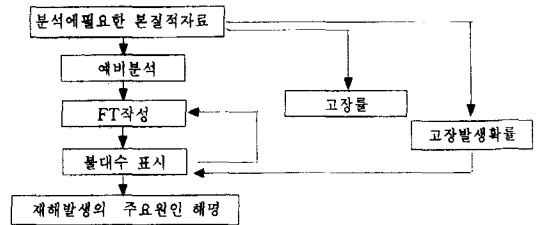


Fig. 2. FTA technique and procedure

Table 1. Accident causes by each kind

기인물	계	기인물	계	기인물	계
철근밴딩기	1	터파기면	2	이동식비계	2
지게차	7	PILE (두부)	7	비계 (강관기둥등)	35
교류아크용접기	3	송강기	1	동바리	6
목공용동근톱		수중 모터펌프	1		35
차량 (덤프, 테이콤등)	11	로프 (와이어)	20	가설발판 (작업발판)	48
항타기	7	파이프	4		13
호이스트 카리프트카	48	각재 (각목)	6	바닥	5
크레인	30	우수관 (흡관등)	8	계단	5
자재	30	콘크리트 펌프카	1	암석	4
가설경사로	2	투광등	1	토사	4
유해가스	8	콘크리트 (하중)	1	플러그	1
달비계	6	페인트 물로	1	안전대	3
		체인블럭용 삼각대	10	난간대 (발코니 부분)	27
낙하물방호설비	10	엘리베이터	1	쓰레기더미	1
가설전기 (전선케이블)	27	전기드릴	10	옹벽	1
리프트카개구부등	15	리아카	5	이동식사다리	1
개구부 (수평, 수직)	25	슬라브	8	전주(전선)	7
가설사다리	5	고무호스	1	SUPPORT	10
틀비계	9	기타	34		
총 계					587

이렇게 볼 때, 이 두 요소 중 어느 하나를 재해를 일으키는 잠재적 에너지로 본다면, 재해예방 측면은 에너지와 사람과의 충돌현상을 피하고 폭주의 가능성이 있는 에너지를 조절하는 것이 될 것이다. 그 분석절차는 Fig. 2와 같다.

3. GANG FORM 작업의 체계적 FTA적용

3.1. GANG FORM 작업의 작업공정도

갱폼작업의 작업공정도는 크게 나누어 8단계로 구분할 수 있다. 각 단계는 Fig. 3과 같다.

3.2. GANG FORM 작업의 재해분석

갱폼 사망재해관련은 '96-2000년까지 중대재해 공단조사분을 활용해보았다.

연도별 재해자수 관련자료는 Table 2와 같다.

3.3. GANG FORM 작업의 FT도

Gang Form작업의 FT도를 작성하기 위해 다음과 같은 절차를 밟는다.

첫째, Gang Form작업의 재해 분석을 통해 사고의 주요인을 불안정한 상태에서 발생한 사고의 직접원인 중 물적요인으로 분류한다.

둘째, Gang Form 공정작업을 크게 네 부분으로 세분화한다.

- ◆ 갱폼제작단계
- ◆ 갱폼설치단계
- ◆ 철근배근 및 타설단계
- ◆ 갱폼인양 및 해체단계

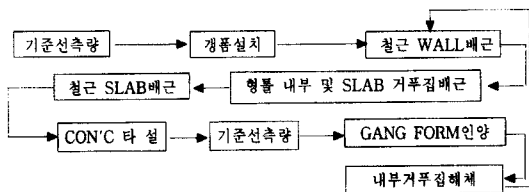


Fig. 3. GANG FORM work process

Table 2. Accident numbers from Gang Form of each year

구분	1996년	1997년	1998년	1999년	2000년	계
재해자 수	3	2	16	5	6	32명
사망자 수	2	2	13	5	6	28명
총사고건수						27건

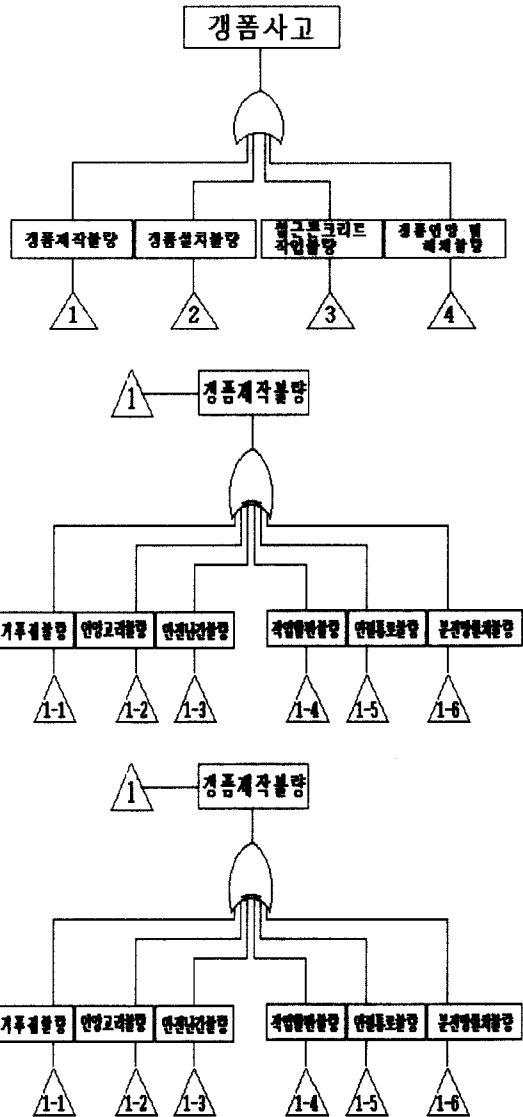


Fig. 4. FT diagram for Gang form

셋째, 세분화된 부분을 모두 불량으로 보고, 첫째에서 분류된 고장요인을 기본사건으로 FT도의 AND와 OR기호를 사용하여 FT도를 작성한다.

넷째, 기본고장요인에 대해 코드화한다.

Gang Form의 기본적 사고 FT도는 Fig. 4와 같다.

3.4. Gang Form 사고 요인의 정량화

FT도에서 나온 기본 사건들을 정량화 하기 위해 아파트 공사기간을 아파트 공사의 평균공정에 따른 공사기간으로 설정했다. 근로자 1년간 평균근로시

간이 2,400시간(8시간/1일 * 360일)이므로 각각의 기본사건들을 2년에 1회 발생한 것으로 보고 4,800시간으로 나누어 사건의 발생확률을 계산했다. '93-'99년까지 분석된 갱폼사고 주요인에는 기본사건에 빈도수를 계속 누적해가며 환산하여 사고확률을 계산해 사고의 물적요인간 차별이 생기도록 했다. 그와 관련된 사항은 Table 3과 같다.

Table 3. Basic event and occurrence rate for Gang Form

분 류			기 호	의 미	사 고 확 률 값
대분류	중분류	소분류			
1 갱폼 제작 불량	1-1 거푸집 불량	자재 연결 불량	01	휨	0.00042
			02	용접불량	0.00021
			03	Clamp 빼기누락	0.00021
			04	조립Bolt 누락	0.00021
		05	Form Tie Bolt 간격불량	0.00042	
		06	갱폼 Cage간 간격불량	0.00021	
		Frame 상태 불량	07	용접불량	0.00021
			08	도장작업불량	0.00021
	1-2 인양 고리 불량	용접 상태 불량	09	○벤딩제작불량	0.00042
			10	두께부족	0.00021
			11	강도부족	0.00042
		U볼트 고정 불량	12	규격미달	0.00042
			13	넛트, 와셔누락	0.00021
	1-3 안전 난간 불량	상부 Cage 난간 불량	14	난간규격 미준수	0.00021
			15	벽체 이격거리 미준수	0.0042
		하부 Cage 난간 불량	16	폭목 미설치	0.0042
			17	벽체이격거리 미준수	0.0042

분 류			기 호	의 미	사 고 확 률 값
대분류	중분류	소분류			
1 갱폼 제작 불량	1-4 작업 발판 불량	조립 불량	18	볼팅체결불량	0.00042
			19	용접불량	0.00021
			20	철선규격 및 체결 불량	0.00042
		재질 불량	21	강도규격미달	0.00021
			22	코팅합판사용	0.00042
		폭과 간격 불량	23	폭 간격불량	0.00063
			24	발판간격부족	0.00021
		코너부 연결 불량	25	Cage 간격초과	0.00021
	26		작업발판 간격 초과	0.00042	
	1-5 작업 발판 통로 불량	수직형 승강 사다리 설치 안됨	27	각단엇갈림없음	0.00063
			28	수직사다리 위치 여담이분 설치안됨	0.00063
		29	수평높이 불일치	0.001	
	1-6 외부 분진 망설치 불량	30	분진망 누락	0.00021	
		31	분진망 파손	0.00063	
		32	재질, 강도 부족	0.00021	
		33	분진망 틈 생김	0.00042	

3.5. Minimal Cut Set에 대한 예방투자대책 투자순서

각각의 기본사건(Cut Set)에 사고 확률 값을 대입할 경우, 위험요인이 큰 값들은 사고요인분석작업 FT 작성에도 영향을 미치게 되어 결국 Minimal Cut Set에도 영향을 줄 수밖에 없다. 그래서 FT도에서 구한 Minimal Cut Set은 사고에 대한 주요인이라 볼 수 있는 것이다. 따라서 분석결과에 따라 나온 Minimal Cut Set에 사고 확률 값을 곱해서 나온 값(v)에 우선순위를 정한 후, 그 값이 전체사고에 미치는 영향

Table 4. Occurrence rate for basic event cause of falling death from work platform

기호	의미	발생확률 추정값
X1	지지물의 파괴	0.001
X2	안전대의 파괴	0.0001
X3	이동을 위해 땀	0.25
X4	장착을 잊음	0.1
X5	발판에서 미끄러짐	0.001
X6	신체의 균형을 잃음	0.002
X7	신체의 중심이 발판 밖으로 나감	0.001
X8	고도와 아래쪽의 상태	0.3

값(v/V)이 얼마인지 구분하여 보았다.

사고에 대한 예방투자대책을 세운다면 Minimal Cut Set 순서에 입각한 투자계획을 세워야 할 것이다. 이렇게 할 때 각 위험요인간 연관관계를 쉽게 끊을 수 있어 효율적 분산 투자비용으로 최대효과를 얻을 수가 있는 것이다.

GANG FORM사고의 FT도를 보고 Program을 이용하여 Minimal Cut Set를 구해 보았다. 전체 사고 확률 값(V)은 1.259e-002였으며, 서론에서 제기한 바와 같이 인적요인을 배제한 물적요인만을 다루었기 때문에 Cut 자체가 시설불량에 대한 사항이 주를 이루고 있음을 알 수 있다.

Table 5. FTA Process of Gang form fabrication (V=4.621.e-0.03)

Event No	cut sets	v	v/V	Accumulation Value
5	31	6.300e-004	0.1363	0.1363
10	01	4.200e-004	0.0909	0.2272
13	12	4.200e-004	0.0909	0.3181
11	22	4.200e-004	0.0909	0.4090

Table 6. FTA in process of Gang form work (V=1.470E-003)

Event No	cut sets	v	v/V	Accumulation Value
6	40	6.300e-004	0.4286	0.4286
13	37	4.200e-004	0.2857	0.7143
21	39	2.100e-004	0.1429	0.8571
24	38	2.100e-004	0.1429	1.0000

Table 7. FTA in Process of Rebar Work (V=1.050e-003)

Event No	cut sets	v	v/V	Accumulation Value
14	44	4.200e-004	0.3999	0.3999
7	45	4.200e-004	0.3999	0.7999
17	46	2.100e-004	0.2000	0.9998
30	50 51	1.743e-007	0.0002	1.0000

Table 8. FTA in process of Re bar & concrete placement (V=5.450e-003)

Event No	cut sets	v	v/V	Accumulation Value
1	53	1.700e-003	0.3119	0.3119
2	54	1.500e-003	0.2752	0.5872
3	55	1.000e-003	0.1835	0.7706
4	56	8.300e-004	0.1523	0.9229

4. 분석 결과

FTA 기법에선 FT에 포함되는 기본사건은 해석자의 생각이 많이 작용되게 마련이다. 그렇기 때문에 일어날 수 있는 모든 사건을 고려할 수는 없다. 하지만 중요한 것은 기본 사건을 추출할 때 모든 것을 추출하는 것이 아니라 중요한 의미를 가지는 기본 사건을 빠뜨리지 않고 추출해야 한다는 것이다. 본 논문에서도 Gang Form 작업에서 사고요인의 기본 Cut Set를 1~60개까지 추출해 놓았지만 새로운 Gang Form사고를 분석하다보면 기본사건의 요소가 빠져 있을 수도 있다.

FT분석을 통한 GANG FORM사고의 Program 활용결과, GANG FORM 작업에서 작업위험도는 다음과 같이 Table 5에서 Table 8과 같은 결과로 나타났다. 사고발생 값이 작은 부분은 제외하고 항목별 크기순서로 4개 정도 각각 표시했으며, Minimal Cut Set의 우선 순위를 매겨두었다. 이런 기본사건들은 서로 사고발생의 연관관계를 형성하여 Minimal Cut Set을 발생시키는 바, 작업에 앞서 Minimal Cut Set 우선 순위에 따른 안전시설 예방조치를 선행적으로 투자해야 할 것이다.

Minimal Cut Set의 53번이 우선 순위에서 1위에 있어 댁폼인양시 Form Tie Bolt를 인양기구에 걸기 전에 해체하는 것이 가장 중요한 것으로 나타났다. 이것은 표 8에서 v/V=0.3119로 나타나 있음을 알 수 있다.

Table 9. Checklist for Gang Form work

Order No	Minimal Cut Set	Work Process	Limitation
1	53	*갱폼인양시 Form Tie Bolt 인양기구 걸기 전 해체	
2	54	*부분해체 후 박리작업수행	
3	55	*Form 수평유지 불량	◆ Derrick 사용시 2대로 수평유지 시킬 것 ◆ 후면 ϕ 9mm 이상 Wire Rope와 턴버클로 지지
4	56	*내부탑승	
5	31	*분진망과손	
6	40	*Form 부속철물 결속누락	- 5개층 사용시 마다 확인
7	45	*유로폼과 갱폼결속불량	- Form Tie Bolt로 고정
8	33	*분진망 빈틈생김	
9	09	*U밴딩제작불량	◆ 냉간압연된 재질로 22mm 환봉사용 ◆ 밴딩시최소반경 R1500mm 이상
10	01	*거부집 휨	
11	22	*코팅강판사용	◆ 유공아연도금강판 ◆ Extend Metal 사용
12	37	*폼타이볼트일정간격유지불량	
13	12	*U-Bolt 규격미달	◆ 안전율 5 이상
14	44	*유로폼과 유로폼 결속불량	◆ Tie Pin으로 고정
15	11	*인양고리 강도부족	
16	06	*갱폼 Cage간 간격불량	◆ 최소한간격 200mm
17	46	*외부수직 및 수평부재누락	
18	21	*작업발판 강도 규격미달	◆ 유공아연도금강판 ◆ Extend Metal 사용
19	10	*용접두께부족	
20	32	*분진망 재질강도부족	◆ 벌집형방망 36함으로 30kg/틀 이상 ◆ 1틀 1.8m*75m
21	39	*갱폼부속철물연결 용접불량	
22	52	*콘크리트 양생부족	- 압축강도 50kg/cm ²

5. 결론

본 논문에서는 과학적 분석방법인 FTA기법을 이용하여 효율적 투자를 위한 아파트 GANG FORM 작업을 제시하였다. 60가지 우선 순위가 구분되었지만 여기서는 22순위까지만 제시되었다. Minimal Cut Sets 53은 순위 1에 비해 누적값 차이는 3배 크지만 v/V값은 1/2배인데, 갱폼 Form Tie Bolt 해체작업을 제일 먼저하고 부분해체후 박리작업, Form 수평유지 불량 다음에 내부탑승이라는 작업공정 순서와

일치토록 합당한 분석 방법으로 FTA기법이 상용될 수 있음을 확인하였다. FT도에서 Minimal Cut Set를 구해 사고의 주 위험요인을 밝혔으며, 기본사건과 사고확률기준 값을 만들어 'GANG FORM 사고에 있어 기본사고 확률값'을 표현했다. 이것은 추후 GANG FORM작업 사고분석 기준표가 될 수 있을 것이다. 그리고 GANG FORM 작업에서 각 부분별 점검해야 할 Check List 작성시 기준이 될 수 있는 사항을 작성하게 되었다. 이 과정에서 재해분석방법을 기존방식과 달리 해야 재해예방측면에 많은 도

움이 되며, 이런 방법을 건설업 전공종에 체계적으로 도입할 경우 안전관리비를 효율적으로 분산투자할 수 있음도 알게 되었다.

건설업도 제조업에 사용되는 기계와 마찬가지로 ‘건축물이라는 한 시스템’을 형성하고 있다. 이 시스템을 구성하고 있는 Sub-System의 연관성을 밝히고자 Gang Form이라는 Sub-System을 분석해본 것이다. 추후 다른 시스템간에 사고연관성을 계속 규명하여 나간다면 건설업에도 적은 비용으로도 재해를 효과적으로 예방할 수 있을 것이다.

감사의 글 : 이 논문은 국립서울산업대학교 학술연구 지원비에 의해 수행되었음.

참고문헌

- 1) 노동부, “연간 재해분석현황,” 노동부편람, 1993-2000.
- 2) 한국원자력연구소, “Fault Tree Editor Kwtree 2.8,” 2000. 6.
- 3) 김두현, 김찬오 외 4, “전기안전공학,” 동화기술, 2. 1995. pp. 56~78.
- 4) Fussell, J. B., “A Formal Methodology for Fault Tree Construction,” Nuclear Science and Engineering, 1993
- 5) Fussell, J. B, Powers, G. J & Bennette, “Fault Tree-A state of the Art Discussion,” IEEE Trans. Reliability, Vol. R-23, 4. 1974.
- 6) 總合安全研究所. “FTA 안전공학,” 동경. 總合安全工學研究所, pp. 35~52, 1979.
- 7) Brown, D. B, “System Analysis & Decision for safety,” Prentice Hall, 1976.
- 8) Malask, S. W, “System Safety,” Hyden Book Company, 1974.
- 9) 이상용, “신뢰성 공학,” 형설출판사, 1999. 9. pp. 135~152.
- 10) Ramakumar, R. “Engineering Reliability,” Prentice-Hall, 1993.
- 11) 한국산업안전공단, “중대재해조사자료,” 한국산업안전공단, 1996-1998.
- 12) 이리형, 이송, 손기상, “최신건설안전공학,” 기문당, 2001, pp. 189~210.
- 13) 한국산업안전공단, “갱폼(Gang Form) 제작 및 사용에 대한 안전지침,” KOSHA CODE C-17, 1999.
- 14) 고동진, “갱폼 작업시 추락재해예방 대책,” 한국산업안전공단, 2001.