

산업현장의 소음·진동 원인분석 및 저감방안 연구

Assessment of Can Factory working noise and its reduction

전형준† · 고준희* · 장서일**

Hyung-Jun Chun, Jun-Hee Ko and Seo-II Chang

Key Words : noise reduction (소음감쇠), predict (예측), plant's noise (공장 소음)

ABSTRACT

The purpose of this study is to obtain an effective enclosing method for noise reduction of press machine operating in a manufacturing company located in Korea. Noise level of the machine is about 90~105dB which is higher than legal standards by industrial safety and health law. This study has predicted the level of noise reduction according to a step by step prevention plan by considering the characteristics of the cause of noise, the permitted limit of noise levels, problems and economical efficiency attendant upon the noise prevention measures.

The predicted level of noise at the plant in accordance with the first step is 71.5~89.5dB(A), and can satisfy the permitted limit of noise in a time period of the day. Based on these results, enclosing method adequate for the selected plant's noise characteristics were suggested.

1. 서론

산업현장의 작업장에서의 부적합한 환경에 의한 근로자의 피해가 통계적으로 점차 증가추세에 있다.

우리나라의 경우 산업현장에서의 산업재해에 의한 직업병으로는 80년대 중반까지는 분진이나 유해가스 등에 의한 직업병이 대부분이었으며, 90년대부터는 대기환경이나 수질오염에 의한 직업병 등이 대두되었고, 아직까지는 미약하나 80년대 후반부터 직업성 소음에 의한 난청환자의 발생빈도가 점차 높아지고 있어 관심이 요망된다. 노동부 자료(2005)에 따르면, 전체 업무상 직업병 질병자 2,524명중 난청질환자가 20.0%인 302명으로서, 2004년에 266명보다 36%증가한 것으로 진폐환자와 더불어 가파른 증가세를 보이고 있는 것으로 나타났다.

소음청 난청의 발생빈도가 높은 업종은 전기제품공업, 제강공업, 목재공업 및 섬유공업의 순이고, 근무

년수 및 나이가 높아질수록 그 정도가 심한 것으로 나타났다. 그리고 남성 근로자의 경우, 전반적인 업종에서 소음성 난청이 발생되고 있으나, 여성 근로자의 경우는 섬유공업 업종에서 뚜렷하게 심한 것으로 나타나고 있다.

일반적으로 산업현장의 경우, 근로자가 1일 8시간 작업 시 노출이 허용되는 소음도(충격소음제외)는 90dB(A)이나, 제철, 제강 및 제관 제조공정, 조립금속공정, 선박 건조 및 해체공정, 도금공정, 적포공정, 광산 또는 건설공사장의 굴착공정, 인쇄 및 출판공정, 목재의 제재 및 종이제조공정 등에서는 아직도 95dB(A) 이상의 높은 소음도가 발생되고 있으므로, 문제점의 근본적인 진단이 이루어진 후 단계적인 대책이 이루어지도록 하여야 할 것이다.

2. 기본이론⁽¹⁾

측정거리에 음원의 크기가 매우 작은 경우에 음파의 확산 면적이 $S(m^2)$ 인 무지향성 음원의 음향파워레벨 PWL은

$$PWL = SPL + 10 \log S = SPL + 20 \log r + 11 \quad (1)$$

여기서, SPL : 음압레벨(dB)

S : 거리 r(m)를 반경으로 한 음선에 수직하는 구의 표면적($4\pi r^2$)

반구면파의 형태로 방사되는 경우

† 정희원, 서울시립대학교 환경공학부 석사과정
E-mail : yop1hj@hanmail.net
Tel : (02) 2210-2986, Fax : (02) 2210-2877

* 서울시립대학교 환경공학부

** 서울시립대학교 환경공학부

$$PWL = SPL + 10 \log S = SPL + 20 \log r + 8 \quad (2)$$

여기서, $S : 2\pi r^2$

한편, 음원으로부터 $r_1(m)$ 떨어진 지점의 음압레벨을 SPL_1 이라 할 때, 음원으로부터의 거리 $r_2(m)$ 에서의 음압레벨 SPL_2 는 다음과 같은 식이 성립된다.

$$SPL_1 - SPL_2 = (PWL - 10 \log S_1) - (PWL - 10 \log S_2)$$

로부터

$$SPL_2 = SPL_1 - 20 \log \frac{r_2}{r_1}$$

또한, 몇 개의 음원으로부터의 소리를 임의의 점에서 들었을 때, 각 음원의 음압레벨을 $L_1, L_2, L_3 \dots L_n(dB)$ 이라 한다면 그 점에서의 총 음압레벨 L 은 다음과 같다.

$$L = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \right) (dB)$$

3. 연구방법

3.1 작업장 소음 기준 및 평가방법⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

(1) 각국의 직업성 소음 폭로한계

Table.1 기타 각국의 직업성소음 폭로한계

국명	정상소음 레벨dB(A)	소음폭로 시간	반감비 dB(A)	최대허용 소음레벨 dB(A)	충격음 피크음압 레벨dB(A)
덴마크	90	40hr/주	-	-	-
프랑스	90	40	-	-	-
벨기에	90	40	5	110	140
스웨덴	85	40	3	115	-
아일랜드	90	-	-	-	-
이탈리아	90	8hr/일	5	115	140
독일	90	8	-	-	-
영국	90	8	3	135	150
미국	90	8	5	115	140
캐나다	90	8	5	115	140
호주	90	8	3	115	-

직업성 소음의 폭로한계는 직업성 소음폭로와 청력장해의 추정발생율(위험율)과의 관계를 정한 것이다. 즉 소음레벨과 지속시간으로 나타내는 소음폭로와 직업성 소음폭로에 따라 청력장해가 발생될 것으로 추정되는 사람의 비율과의 관계를 구한다.

1)레벨별 소음폭로지수(partial noise exposure index)

1주간의 작업시간(40시간)을 5dB간격으로 구분하고, 소음레벨과 그 지속시간에 따라 정한 지수

2)합성소음폭로지수(composite noise exposure index)

1주간의 작업시간(40시간)내의 레벨별 소음폭로지수의 총합계

3) 등가소음레벨

1주간을 40시간으로 정하고 1주간 계속 측정된 여러 소음레벨로부터 이루어진 소음의 합성소음 폭로지수에 상당하는 연속소음레벨 dB(A)를 말한다. 어떤 시간 내의 파워 평균 레벨이다.

4) 측정

소음레벨은 A특성으로 측정하고 레벨을 5dB 폭을 갖는 군으로 나누어 각 군별의 1주간 총 지속시간을 기록한다. 소음계의 동특성은 일반적으로 느림(slow)을 사용한다.

(2) 국내의 공장내부소음에 대한 법규검토

현재 국내에는 공장 내 작업장소음에 대하여 소음진동규제 법에는 법적으로 규제하고 있지 않으며, 그 외의 법규기준으로는 산업안전보건법상 소음노출 기준이 있다.

이러한 산업안전보건법상에는 다음과 같은 기준으로 구분하고 있다.

Table.2. 소음의 노출기준(충격소음제외)

1일노출시간(hr)	소음강도 dB(A)
8	90
4	95
2	100
1	105
1/2	110
1/4	115

주 : 115dB(A)를 초과하는 소음 수준에 노출되어서는 안된다.

Table.3. 충격소음의 노출기준

1일노출회수	충격소음의 강도dB(A)
100	140
1000	130
10000	120

주 : 1. 최대 음압수준이 140dB(A)를 초과하는 충격소음에 노출되어서는 안된다.

2. 충격소음이라 함은 최대음압수준에 120dB(A) 이상인 소음이 1초 이상의 간격으로 발생하는 것을 말한다.

위와 같이 작업환경측정 결과를 평가하여 소음노출기준 미만이면 현재의 작업 상태를 유지하고, 노출기준을 초과할 가능성이 있으면, 재측정, 시설 설비 등 작업방법점검 후 개선 및 적절한 보호구를 지급한다. 또한, 노출기준을 초과할 경우에는 시설 설비 등에 대한 개선 대책수립 및 적정보호구 지급을 한다.

3.2 공장소음의 측정개요

작업장 내에서의 소음측정은 B&K 2260 정밀소음측정기기1대와 L&D 824 정밀측정기기 2대를 이용하여 현장 측정으로서 B&K 2260을 이용 각 공정 기기별 음향파워 측정, L&D 824을 이용 공장 내부 소음 측정하여 실시간 주파수 분석 및 시뮬레이션 자료로 썼다. 이때 ISO 및 KS 측정 방법을 사용하여 소음계의 동특성은 느림

(slow), 주파수보정은 A특성을 사용하였다.

- 1) L&D system 824를 이용한 실내 소음측정결과
가) 소음도 측정 현황

L&D system 824 2대를 이용하여 공장내부를 15m×15m의 격자로 나누어 각 지점별 소음도를 측정하였다.

Table.5. 소음도 측정현황

측정지점	소음도 (dB(A))	측정지점	소음도 (dB(A))	측정지점	소음도 (dB(A))
1	82.8	17	101.6	33	84.8
2	87.0	18	97.1	34	82.5
3	97.7	19	91.1	35	68.6
4	95.3	20	90.0	36	80.6
5	92.7	21	90.0	37	87.1
6	91.5	22	85.7	38	92.2
7	91.5	23	79.1	39	83.4
8	84.7	24	71.7	40	85.2
9	77.9	25	72.1	41	79.0
10	76.4	26	85.9	42	70.8
11	73.7	27	99.6	43	84.5
12	92.5	28	98.7	44	79.3
13	84.5	29	89.5		
14	78.1	30	85.1		
15	80.6	31	88.7		
16	86.6	32	78.6		

Fig.1. 주파수별 소음도

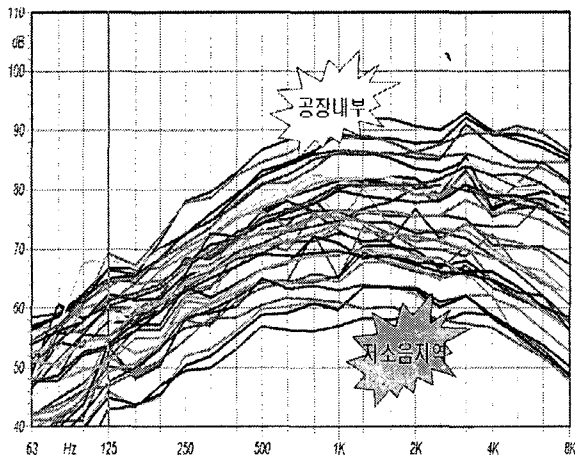


Table.5.에서 보듯이 공장내부의 소음도는 68.6 ~ 99.6dB(A)을 나타냈으며, 주파수 분석으로는 125Hz와 250Hz, 1,000Hz, 3,150Hz에서 높은 소음도를 보였다. 또한 공장내부의 검사실의 저소음지역에서는 1250Hz, 2,000Hz에서 높은 소음도를 보였다.

- 2) B&K 2260을 이용한 기계별 인텐시티 측정 결과
Table 6. 소음도 측정현황 단위 dB(A)

구분	Intensity	Power	Pressure	
1	식기성형기#1	93.8	93.5	99.4
2	식기성형기#2	90.0	84.0	98.1
3	성형기#1	71.5	76.9	89.2
4	성형기라인#1	62.2	74.3	82.9
5	성형기라인#2	71.8	78.5	82.5
6	검사기#1	79.8	82.7	85.0
7	검사기#2	77.4	79.7	83.2
8	검사실라인#1	73.6	72.3	87.3
9	검사실라인#2	83.6	83.4	89.0
10	DCI #1	80.1	80.5	90.8
11	DCI #2	82.3	81.2	90.4
12	컨베이어#1	76.4	78.3	88.8
13	성형기라인#3	76.8	79.2	91.5
14	성형기라인#4	76.8	78.4	92.5
15	식기성형기#3	94.7	94.7	99.5

4. 연구결과

4.1 실측에 의한 공장소음의 분포

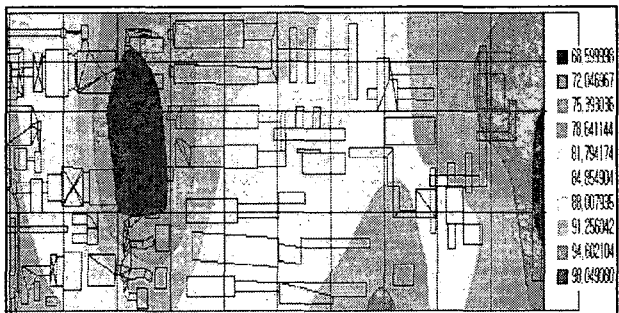
- 1) 측정등음선도

공장내에서의 각 지점별 측정된 소음측정치를 기초로 좌표별로 ArcGis8.3을 이용하여 등음선도를 그려보았다.

Table 7. 소음분포도

소음범위(dB(A))	면적(m ²)	소음범위(dB(A))	면적(m ²)
68.6 ~ 72.0	54.2	84.9 ~ 88.0	932.6
72.0 ~ 75.4	517.4	88.0 ~ 91.2	984.4
75.4 ~ 78.6	500.5	91.2 ~ 94.6	839.5
78.6 ~ 81.8	864.6	94.6 ~ 98.0	625.9
81.8 ~ 84.9	1,095.0	98.0 ~ 101.6	335.6

Fig 2. 등음선도



제병공장의 경우 “식기성형기”주위에서의 소음도가 90dB 이상을 보이고 있으며 “식기성형기 라인”까지는 88dB 내외의 소음도를 보이고 있다. 검사실로 가면서 점차 소음도는 낮아져서 70dB 내외로 양호한 소음도를 보인다. 또한, Table 7.에서 보듯이 전체면적 6,479.7m² 중 90dB 이상의 지역은 27.8%인 1,801m²를 차지하고 있다. 그리고 80dB의 저소음지역은 검사실 내부와 창고지역에서 나타났다.

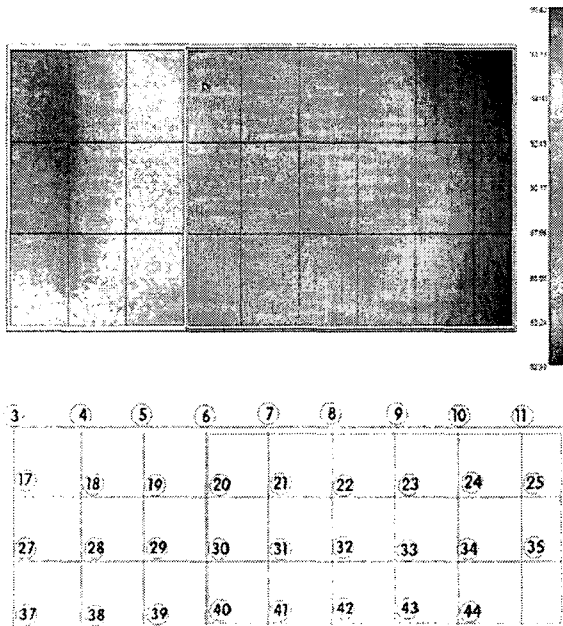
2) Raynoise를 이용한 실측치 검증

B&K 2260을 이용 intensity측정을 하여 측정된 각 공정기계별 sound power 값을 사용하여 실제 공장 cad도면에 각 음원을 주어 Raynoise 프로그램에서 모델링후 실측한 소음도와 비교하였다.

Table 8. 실측치와 예측치의 비교 단위 dB(A)

지점	소음도	예측치	차	지점	소음도	예측치	차	지점	소음도	예측치	차
	82.8	-		16	86.6	-		31	88.7	87.5	1.2
2	87.0	-		17	101.6	98.3	3.3	32	78.6	89.9	-11.3
3	97.7	98.1	-0.4	18	97.1	99.4	-2.3	33	84.8	87.3	-2.5
4	95.3	98.5	-3.2	19	91.1	95.2	-4.1	34	82.5	85.7	-3.2
5	92.7	95.0	-2.3	20	90.0	94.6	-4.6	35	68.6	83.3	-14.7
6	91.5	89.6	1.9	21	90.0	88.8	1.2	36	80.6	-	
7	91.5	88.3	3.2	22	85.7	87.7	-2	37	87.1	94.2	-7.1
8	84.7	86.2	-1.5	23	79.1	86.6	-7.5	38	92.2	94.8	-2.6
9	77.9	85.0	-7.1	24	71.7	84.5	-12.8	39	83.4	93.7	-10.3
10	76.4	83.3	-6.9	25	72.1	83.1	-11	40	85.2	84.2	1
11	73.7	82.0	-8.3	26	85.9	-		41	79.0	85.4	-6.4
12	92.5	-		27	99.6	96.8	2.8	42	70.8	85.6	-14.8
13	84.5	-		28	98.7	98.2	0.5	43	84.5	85.4	-0.9
14	78.1	-		29	89.5	94.7	-5.2	44	79.3	84.3	-5
15	80.6	-		30	85.1	86.7	-1.6	평균	85.4	89.8	-4.4

Fig 3. 예측 프로그램 등음선도 및 지점번호도



Raynoise를 이용한 예측치와 실측치를 다음 표에서 비교하였다. 측정지점이 Raynoise 더 적은 이유는 예측프로그램의 특성상 측정구역의 구분을 단순화 하였다.

또한, 실측치와 예측치의 차이가 있는 것은 두 가지 정도의 이유가 발견되었다. 첫째는, 음영으로 표시된 지점의 경우 예측프로그램의 특성상 외곽지점의 경우 회절과

반사의 영향을 받아 3dB이상의 차이를 보이는 것으로 보인다. 두 번째는 사선으로 표시된 지점 9, 10, 11, 23, 24, 25, 32, 35의 경우 주변의 음향파워레벨이 적은 기계들이 많은 곳의 중첩으로 인하여 다소 높게 나타났다.

편차가 크긴 하지만, 평균적으로 실측치와 예측치의 차이가 -4.4dB로 예측프로그램의 오차 범위인 $\pm 3dB$ 보다 다소 높은 것으로 나타났다.

4.2 모델링을 통한 소음저감후의 분포

자동 press 및 성형기 등의 고음을 발생하는 기계들은 방음설비 기능을 가지거나 유사한 시설을 설치하는 조건을 가정하고, 컨베이어 벨트나 이송라인은 외면에 댐핑재를 부착하여 소음을 저감하는 방안을 모색하였다.

다음은 저감치를 예를 들어 설명하여 보았다.

Table 9. 주파수별 소음 저감치 단위 dB(A)

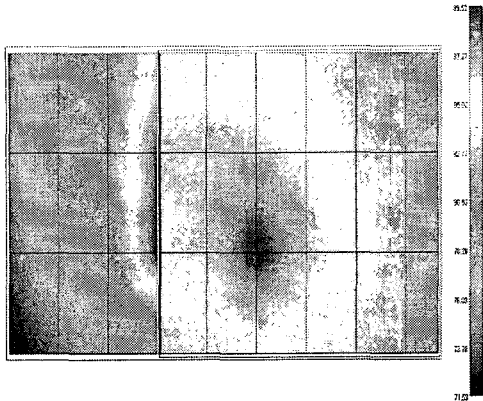
구분	방음실 예								
	SP Hz (dBA)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
대책전	85	86	83	89	96	98	90	81	
대책후	67	71	70	63	63	61	55	38	
저감량	18	15	13	26	33	37	35	43	
구분	댐핑재 부착한 활송장치								
저감량	4	4	4	2	8	9	12	15	

위와 같은 방음대책을 적용하여 소음 예측프로그램인 Raynoise를 이용하여 저감치를 산출하였다.

Table 10. 소음 저감량 단위 dB(A)

지점	소음도	예측치	차	지점	소음도	예측치	차	지점	소음도	예측치	차
1	82.8	-		16	86.6	-		31	88.7	86.4	2.3
2	87.0	-		17	101.6	74.2	27.4	32	78.6	89.5	-10.9
3	97.7	73.6	24.1	18	97.1	82.1	15	33	84.8	86.8	-2
4	95.3	79.7	15.6	19	91.1	80.7	10.4	34	82.5	85.1	-2.6
5	92.7	80.4	12.3	20	90.0	86.5	3.5	35	68.6	82.4	-13.8
6	91.5	84.7	6.8	21	90.0	86.6	3.4	36	80.6	-	
7	91.5	85.0	6.5	22	85.7	86.7	-1	37	87.1	71.5	15.6
8	84.7	84.8	-0.1	23	79.1	85.9	-6.8	38	92.2	73.7	18.5
9	77.9	84.2	-6.3	24	71.7	83.6	-11.9	39	83.4	75.4	8
10	76.4	82.4	-6	25	72.1	82.1	-10	40	85.2	83.2	2
11	73.7	81.1	-7.4	26	85.9	-		41	79.0	84.2	-5.2
12	92.5	-		27	99.6	73.2	26.4	42	70.8	84.8	-14
13	84.5	-		28	98.7	77.1	21.6	43	84.5	84.7	-0.2
14	78.1	-		29	89.5	79.7	9.8	44	79.3	83.6	-4.3
15	80.6	-		30	85.1	85.2	-0.1	평균	85.4	81.7	3.7

Fig. 4. Raynoise를 이용한 소음 저감후의 등음선도



앞서 본 Table 8.에 나와 있듯이, 그림오른편의 검사실에서 측정지점인 8~11, 22~25, 30~35, 41~44의 경우 소음예측프로그램의 예측치가 높게 나와서 저감 효과를 못 본 것으로 나와 있다. 그러나, 본 공장의 경우 주 방음대책이 필요한 시설인 식기 성형기 및 성형기의 방음 시설이 검사실 밖에 있어서 검사실에서의 저감효과가 미미한 것은 큰 영향이 없을 것으로 예상된다. 성형기 및 성형라인의 저감 후 저감량은 평균 12.7dB로 평균 79.6dB의 소음도로 양호한 작업현장의 등소음도를 보였다.

5. 결론

앞서 연구결과에서 살펴봤듯이, 본 연구의 결과로는 산업 현장 내에 고소음 시설에 대한 방음대책으로 방음실 및 이송라인의 방음설비를 기준으로 저감방안을 모색하였다. 그 결과 현재 기준치를 초과하는 작업장 내 소음이 기준치 이하로 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 이러한 방음대책은 단순히 방음대책 적용에 따라 이루어진 소음감쇠이므로, 작업장내의 작업자 중심의 접근방법과 작업장 내 기계 설비류의 소음진동 개선이 이루어지는 다차원적인 대책을 세워 실제적인 접근이 필요할 것이다.

특히, 이러한 다차원적이고 환경우선적인 소음저감 대책은 생산현장에서의 생산효율성과 이윤추구와의 상충이 생길 수 있는 부분이므로, 향후 본 산업현장 뿐 아니라 모든 산업현장에서의 개선의지에 따른 지속적이고 다각적인 접근과 연구를 통한 방법을 통한다면, 작업 공간 내 소음은 충분히 제어될 수 있다고 하겠다.

후 기

본 연구는 재단법인 연강재단의 환경관련 학술연구 지원사업 “산업현장의 소음·진동 원인 분석 및 저감 방안 연

구-제병/캐성형 공장을 중심으로“ (연강 제 05-330-01)를 수행하면서 얻어진 결과이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다

참 고 문 헌

- (1) 윤세철, 김태구, 오종민, 2000, “공장 소음도 예측”, 한국안전학회지, Vol.15, No.3, pp. 88~95.
- (2) 노동부 산업안전보건국, 2005년도 산업재해발생현황, <http://www.molab.go.kr/>
- (3) KS A ISO 1999(음향-직업적 소음 노출량의 산출 및 소음에 의한 난청의 추정) - 작업장 소음의 측정 방법 및 작업자 노출 소음레벨 기준 제시 및 난청 평가 기준 제시
- (4) Noise and Health, Health Council of the Netherlands 1994 - 소음노출폭로산정 방법 및 소음이 인체 건강에 미치는 영향등에 대하여 측정 방법 및 도표 제시
- (5) 산업안전보건법 제42조 - 작업환경 측정에 대하여 측정 기준 및 측정실시 시기 등과 함께 개선방안 까지 제시
- (6) 이출재, “작업환경소음진동학”, 동화기술(1992)
- (7) 아시아 소음진동연구소, 성형 및 검사라인의 소음진동평가용역 최종보고서, 2004.9
- (8) 이종대, 류선우, 알기쉬운산업보건학, 고려의학, 2004.8
- (9) 김성천, 모 자동차 공장의 소음폭로와 혈압에 관한 연구, 한국환경보건학회지, Vol.17, p 48~53
- (10) 이진현, 산업위생학, 신광문화사, 2003.2
- (11) 기도형, 신승현, 1996, “공장기계 소음경감을 위한 표출적 차폐 방안 연구”, 한국산업안전학회지, 제11권 제4호 pp34~41