

안전과 생산성을 고려한 설비평가의 관리체계 설계

조용욱* · 서장훈** · 양광모***

*인덕대학 산업시스템경영과 · **중소기업진흥공단 연구원 · ***유한대학 산업경영과

A study on Management System Design of Plant Evaluation for Safety and Productivity

Yong Wook Cho* · Jang Hun Seo** · Kwang Mo Yang***

*Department of Industrial & Systems Engineering, Induk College, Seoul, 139-749

**Office of Consulting Service, Small Business Corporation, Seoul, 150-718

***Department of Industrial Engineering, Yuhan College, Pucheon, 185-34

Abstract

This study's purpose centers plant management activities that is management system for total plant efficiency's maximization, plant evaluation system that production and safety management activities factor that is enforcing in manufacturing industry can develop evaluation model that can evaluate quantitative activities in process that maximize productivity and safety efficiency wishes to do design.

Keywords : Plant Evaluation, 계층 구조분석, 생산성, 안전

1. 서론

국내 제조업체들은 산업환경과 시대적 상황에 따라 생산성 향상과 안전수준 향상을 위해 설비의 자동화 및 고급화 등을 꾸준히 추진하고 있는데 이러한 기업들의 생산설비의 관리기술은 아직도 답보된 수준에 머물고 있는 실정이다. 설비관리란 설비에 대한 합리적 관리를 뜻하는 것이지만 일반적으로 광의의 두 가지로 해석된다. 설비의 기획에서 보전, 처분 및 대처에 이르는 모든 과정에 대한 종합적 관리를 의미하며, 작은 의미로 설비보전에 관한 관리를 의미한다. 설비는 기업의 목표와 일치되도록 관리되어야 한다. 즉 생산 요소를 투입하여 제품을 산출할 때 투입요소를 생산제품으로 변환시키는 역할을 담당하는 것이 설비이다. 설비관리는 효율적인 관리를 위한 것으로만 그치는 것이 아니라 그 설비를 사용하는 생산라인의 생산성 및 안전 등에 직접적인 영향을 미치게 되어 결과적으로 기업의

이윤과 직결되기 때문에, 최근에는 많은 생산현장에서 과거의 설비관리시스템 개념 보다는 의사결정을 상황에 맞게 동적으로 내릴 수 있는 설비관리시스템을 요구하고 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 예방보전의 실태를 문헌을 통하여 고찰하고 효율적인 예방 보전을 위하여 생산성과 안전을 고려하여 설비를 평가하고 관리 할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 설비관리와 경제성

국내 기업의 실정 상 일반적으로 설비에 대한 비용을 생각하면 설비 구입에 대한 비용을 많은 부분 생각하게 되는데 이러한 구매 비용보다 더 중요하게 인식되는 것이 보전 비용[그림 2.1]이다.

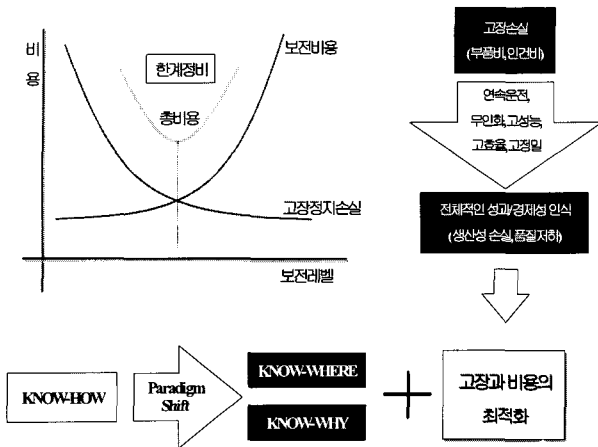
† 이 연구는 인덕대학 학술연구비 일부 지원에 의해서 수행되었음.

† 교신저자: 조용욱, 서울특별시 노원구 월계4동 산76 인덕대학 산업시스템경영과

M·P: 016-9708-7557, E-mail: ywcho@induk.ac.kr

2008년 1월 접수; 2008년 2월 수정본 접수; 2008년 2월 게재확정

설비 보전에 필요한 총 보전비용을 줄이기 위한 여러 방법들이 제안되고 있고 하나의 방법이 설비 정보 시스템을 구축하여 항상 설비의 상태를 점검하고 효율적으로 운영해야 한다[3].



<그림 2.1> 설비관리와 경제성

2.2 제조업의 설비안전관리

국내 제조업의 생산시스템 환경변화추세가 다품종소량체제, 공장자동화 도입으로 점차 설비생산성 향상에 주력하고 있으며 안전에 대한 관심도 많이 높아지고 있는 실정이다. 이에 따라 설비의 복잡화 및 시스템화가 진행됨에 따라 이에 대응하는 설비보전관리를 위한 설비관리시스템 구축이 요구 되고 있다. 제조업에서는 이상이 발생하면 생산라인을 정지하고 복원하는 것이 가능하며, 그때 생산량은 감소하나, 제품불량에 의한 생산손실은 장치산업에 비해 비교적 적은 편이고 생산 재개 후는 바로 제품을 출하할 수 있다. 한편 장치산업은 이상이 발생하여 운전을 하면, 제품이 불량으로 될 뿐만 아니라, 정지에 따르는 여러 가지 문제점이 생기고 복원에 시간이 걸리며, 또한 안전상 중대한 문제가 일어날 염려도 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 중소기업에서 자기평가 기법으로 설비의 효율을 높일 수 있도록 하기 위하여 생산성과 안전성을 모두 고려한 평가시스템을 구축하고자 한다.

2.3 생산과 안전

현대 기업에서는 기존의 기계, 설비 등에서 발생하는 위험 외에 새롭게 제조업체에 설치되어 사용되는 기계, 설비 등에서도 새로운 잠재위험 요인을 가지고 있다.

또한 사용하는 기계, 생산하는 설비 등이 대형화되

고, 사용하는 동력이 증가함에 따라 사망 등 중대재해의 발생가능성은 더욱 커지고 있으며, 이는 공장안의 문제만이 아닌 공장 밖의 주민에게까지도 엄청난 영향을 미칠 수 있는 정도로 재해의 영향영역은 넓혀지고 있다. 산업안전은 생산성의 향상과 재해로부터의 손실을 최소화하기 위하여 행하는 것으로 재해의 원인 및 경과와 규명 및 재해방지에 필요한 과학과 기술에 관한 계통적인 지식체계의 관리나 비능률적 요소인 재해가 발생하지 않는 상태를 유지하기 위한 활동, 즉 재해로부터 인간의 생명과 재산을 보호하기 위한 계획적이고 체계적인 제반활동을 말한다.

J.H. Harvey의 3E로서 사고를 방지하고 안전을 도모하기 위하여 교육(education), 기술(engineering), 독려(enforcement)의 조치가 균형을 이루어야 한다고 주장하여 안전에 크게 기여하였다.

재해발생으로 인한 노동력 손실이 주는 영향으로는 새로운 인력확보를 위한 노력의 손실과 교육훈련 등 여분의 경비(overhead cost)와 시간손실 발생으로 인한 유경험의 근로자 상실로 야기되는 기능저하 및 근로자의 불안감에 의한 작업능률 저하 등을 들 수 있다. 그러므로 안전이란 용어는 인류사회가 있는 한 항상 존재해야만 하는 필수 불가결한 것으로 편안하고 안전한 상태라고 정의할 수 있겠다. 따라서 산업안전과 생산에 입각하여 중요성을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 국내 제조업체에서는 중대재해가 발생할 가능성이 커지고 재해 영향영역이 넓어지고 있다. 사업장에서는 날이 갈수록 기존의 기계설비 등에서 발생하는 위험 외에 신규로 설치·사용되는 기계설비에 새로운 중대재해 잠재위험요인이 나타나고 있다.

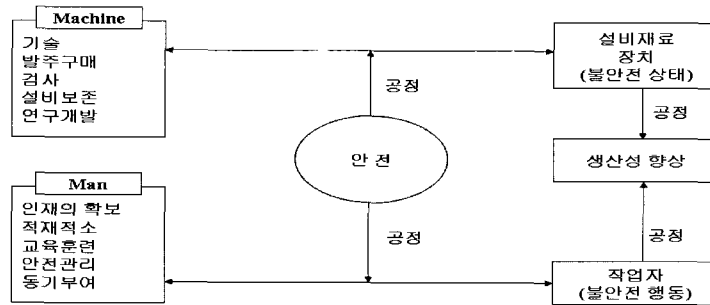
(2) 생산체계의 다양화로 생산성과 근로자의 안전이 중요시된다. 현대 산업사회에서 기업 간의 치열한 이윤경쟁에 따른 생산체계는 복잡한 기계의 조작과 고도로 발달한 과학기술의 사용으로 근로자의 생명과 신체건강에 대한 위험이 늘 내재하고 있는 상태이다.

(3) 원활한 생산시스템의 유지는 기업경영의 목적이 된다. 원활한 생산 시스템의 유지는 시스템 자체의 결함과 무리한 지시나 행동, 무지한 태도 등을 제거함으로써 기업이 원하는 이윤추구의 본래목적이 달성될 것이다.

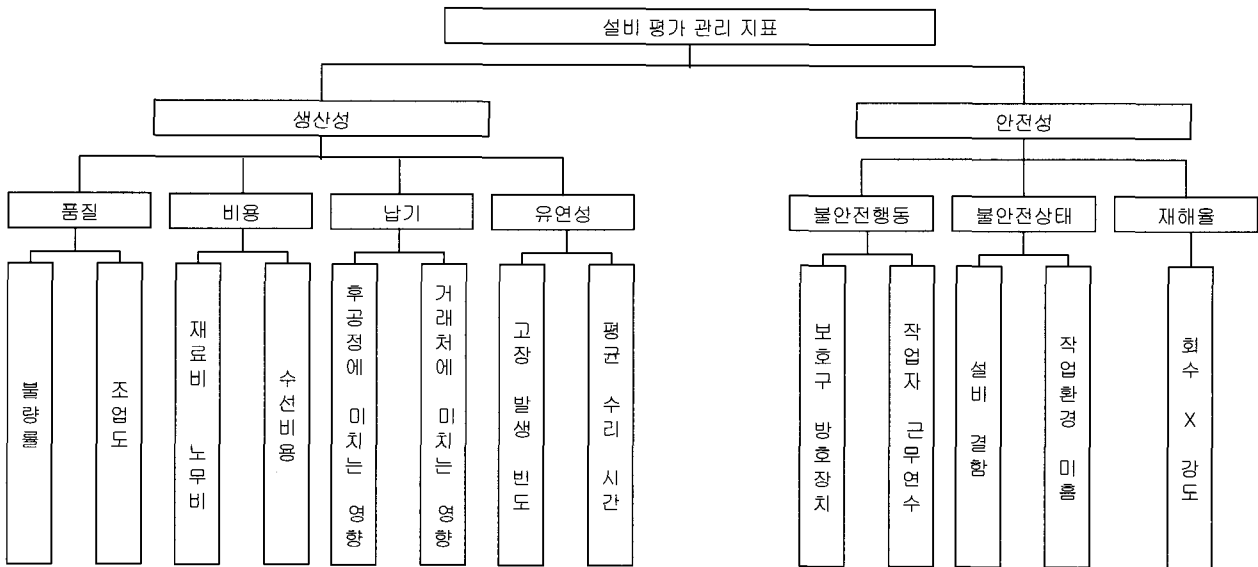
안전은 생산매체를 올바르게 유지시키는 촉진역할을 하고 있다.

(4) 최근 제조업체의 재해급증은 기업의 생산성과 경쟁력 저하의 원인이 된다.

[그림 2.2]에서와 같이 안전은 각 공정에서 꼭 필요한 조건이다. 또한 설비나 인간은 필수적으로 안전이 유지됨으로써 생산성 향상에 기여할 수 있다. 그러므로 안전과 생산은 서로 밀접한 관계가 있다[1].



<그림 2.2> 안전과 생산의 역할



<그림 3.1> 설비평가를 위한 구조모형

3. 생산성과 안전을 고려한 평가표 구조설계

3.1 기호정리

생산성과 안전성을 고려한 평가시스템을 설계하기 위한 기호를 다음과 같이 정의한다.

P = 생산성

PW = 생산성 가중치

PQ = 생산성의 품질요소

PQW = 생산성의 품질요소 가중치

PQW_i = 생산성의 품질 항목 i 의 가중치

PQD_i = 생산성의 품질 항목 i 의 정규화 값

PC = 생산성의 비용요소

PCW = 생산성의 비용요소 가중치

PCW_i = 생산성의 비용 항목 i 의 가중치

PCD_i = 생산성의 비용 항목 i 의 정규화 값

PD = 생산성의 납기요소

PDW = 생산성의 납기요소 가중치

PDW_i = 생산성의 납기 항목 i 의 가중치

PDD_i = 생산성의 납기 항목 i 의 정규화 값

PF = 생산성의 유연성요소

PFW = 생산성의 유연성요소 가중치

PFW_i = 생산성의 유연성 항목 i 의 가중치

PFD_i = 생산성의 유연성 항목 i 의 정규화 값

S = 안전성

SW = 안전성 가중치

SB = 안전성의 불안정 행동요소

SBW = 안전성의 불안정 행동 요소 가중치

SBW_i = 안전성의 불안정 행동 항목 i 의 가중치

SBD_i = 안전성의 불안정 행동 항목 i 의 정규화 값

SS = 안전성의 불안정 상태요소

SSW = 안전성의 불안전 상태 요소 가중치
 SSW_i = 안전성의 불안전 상태 항목 i의 가중치
 SSD_i = 안전성의 불안정 상태 항목 i의 정규화 값
 SS = 안전성의 재해 요소
 SSW = 안전성의 재해 요소 가중치
 SSW_i = 안전성의 재해 항목 i의 가중치
 SSD_i = 안전성의 재해 항목 i의 정규화 값

3.2 계층적 구조모형

본 연구의 목적은 안전한 상태에서의 최적의 생산성을 낼 수 있는 설비보전활동을 할 수 있도록 하기 위한 자기 진단 평가표를 설계하는 것이다[2]. 따라서 앞 절에서 정의한 변수들을 활용하여 평가를 위한 계층적 구조모형을 설계하면 다음 [그림 3.1]과 같다.

3.3 변수에 대한 가중치 선정

[그림 3.2]와 같은 계층구조모형에서 각 변수들의 가중치를 결정하기 위하여 Thomas Saaty[8,9]가 제안한 AHP 기법을 활용하였으며, 그 절차는 다음과 같다.

1 단계 : AHP가중치를 결정하기 위한 위원회를 구성하였다. 본 연구에서는 각 항목에 대한 가중치를 결정하기 위하여 생산관리 담당자 10명과 안전관리 담당자 10명에게 각각의 항목에 대한 항목 비교를 위한 설문을 진행하고 분석하였다.

2 단계 : 각각의 위원들의 설문결과는 계층구조에서 만들어진 행렬들에 주관적으로 n개의 대안을 갖는다고 가정하고 상대적 중요도를 평가하였다. <표 3.1>은 상대적 중요도는 임의 선호도를 기준으로 할 때 대각 행렬을 기준으로 역수의 상태를 보여주고 있다.

<표 3.1> 상대적 중요도

Factor	A	B	C
A	1	7	5
B	1/7	1	3
C	1/5	1/3	1

- ▶ 계층구조 각각의 모든 대안의 매트릭스 작성
- ▶ 쌍별 대안의 모든 항목에 대해서 비교.

3 단계 : 상대적 중요도를 합성하고 일관성 지수(C.I ; Consistency Index), 비일관성 지수(I.I ; Inconsistency Index), 그리고 일관성 비율(C.R ; Consistency Rate)을 구한다.

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

최종 수준의 행렬에서

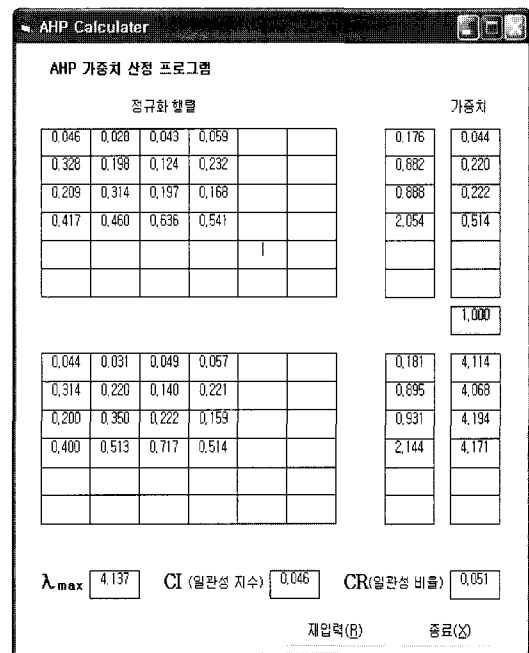
$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \leq 0.1 \quad (2)$$

(단, R.I 는 n 값에 따라 주어지는 상수로 R.I 값은 아래의 <표 3.2>에 의해 구한다.)

<표 3.2> n 변화에 따른 RI 값

n의 수	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI 값	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

4 단계 : AHP 가중치 결정의 절차는 매우 복잡하여 본 연구에서는 [그림 3.2]와 같은 AHP 프로그램을 개발하여 활용하였다.



<그림 3.2> AHP 계산 프로그램 화면

이러한 절차를 통하여 결정한 각 변수의 가중치 결과는 다음 <표 3.3>과 같다.

<표 3.3> 평가를 위한 각 항목의 AHP 가중치 설문결과

설비평가	P	S	행의 합	중요도
P	0.58	0.58	1.16	0.58
S	0.42	0.42	0.84	0.42
C. I.=0.003, C. R.=0				

P	PQ	PC	PD	PF	행의 합	중요도
PQ	0.44	0.49	0.48	0.28	1.69	0.42
PC	0.19	0.22	0.22	0.32	0.95	0.24
PD	0.13	0.06	0.07	0.08	0.34	0.09
PF	0.23	0.24	0.24	0.32	1.02	0.26
C. I.=0.033, C. R.=0.037						

PQ	PQ1	PQ2	행의 합	중요도	PC	PC1	PC2	행의 합	중요도
PQ1	0.45	0.45	0.90	0.45	PC1	0.39	0.39	0.78	0.39
PQ2	0.55	0.55	1.10	0.55	PC2	0.61	0.61	0.61	0.61
C. I.=0.002, C. R.=0					C. I.=0.002, C. R.=0				

PD	PD1	PD2	행의 합	중요도	PF	PF1	PF2	행의 합	중요도
PD1	0.51	0.51	1.02	0.51	PF1	0.27	0.27	0.54	0.27
PD2	0.49	0.49	0.98	0.49	PF2	0.73	0.73	1.46	0.73
C. I.=0.002, C. R.=0					C. I.=0.002, C. R.=0				

S	SB	SS	SI	행의 합	중요도
SB	0.10	0.09	0.10	0.29	0.10
SS	0.41	0.41	0.42	1.24	0.41
SI	0.49	0.49	0.48	1.46	0.49
C. I.=0.002, C. R.=0.003					

SB	SB1	SB2	행의 합	중요도	SS	SS1	SS2	행의 합	중요도
SB1	0.82	0.82	1.64	0.82	SS1	0.63	0.63	1.26	0.63
SB2	0.18	0.18	0.36	0.18	SS2	0.36	0.36	0.72	0.36
C. I.=0.002, C. R.=0					C. I.=0.002, C. R.=0				

4. 설비평가측정 기법 산정

모든 평가 요소를 i 라 표시하고 $i=1, \dots, s$ 이다. 각 안전 요소($j = 1, \dots, l$)의 정규화는 다음과 같이 표현한다[4, 5]. 만일 요소가 요소값이 클수록 좋은 경우에는 NOV (Normalized Objective Attribute Value)는

$$NOV_{ij} = OV_{ij} / (OV_{i1} + OV_{i2} + \dots + OV_{ij}) \quad (3)$$

이고, 요소값이 작을수록 좋은 경우는 아래와 같다.

$$NOV_{ij} = (1/OV_{ij}) / [(1/OV_{i1}) + (1/OV_{i2}) + \dots + (1/OV_{ij})] \quad (4)$$

4.1 생산성 항목의 계산

생산성의 항목은 생산관리의 품질, 비용, 납기, 유연성의 항목을 설비관리에 맞게 구성하였다.

품질의 경우는 조업도와 불량률, 비용은 손실비용과 수선비용, 납기는 후공정 및 거래처와의 관계 마지막으로 유연성은 고장발생빈도와 평균수리시간으로 하였다.

또한 이들 변수를 동일한 기준으로 환산하기 위하여 정규화 과정을 거쳐야 하는데 이때 식(3)과 (4)를 사용하며, 그 값이 높은 것이 좋을 때는 식(3)을 사용하고, 그 반대인 경우는 식(4)를 사용한다. 따라서 생산성의 항목에서는 조업도의 경우만 식(3)을 활용하여 정규화를 시키고 나머지는 식(4)를 활용한다. 따라서 각각의 품질, 비용, 납기, 유연성에 대한 값은 다음 식(5)(6)(7)(8)을 사용하여 구할 수 있다.

$$PQ = PQW \left[\sum_{i=1}^n PQW_i \times PQD_i \right] \quad (5)$$

$$PC = PCW \left[\sum_{i=1}^n PCW_i \times PCD_i \right] \quad (6)$$

$$PD = PDW \left[\sum_{i=1}^n PDW_i \times PDD_i \right] \quad (7)$$

$$PF = PFW \left[\sum_{i=1}^n PFW_i \times PFD_i \right] \quad (8)$$

또한 생산성 변수의 값은 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P = PW [PQ \times PC \times PD \times PF] \quad (9)$$

4.2 안전 항목의 계산

안전에 대한 항목은 불안전 행동과 불안전 상태로 구분할 수 있지만 지금까지의 재해 발생 실태를 반영하기 위하여 배해의 변수를 추가하였다.

불안정한 행동의 경우는 보호구와 방호장치, 작업자의 근무연수, 불안전 상태의 경우는 설비와 방호장치의 결합과 작업환경 결합, 마지막으로 재해의 경우는 횡수×강도로 하였다. 이또한 식(3)과 식(4)를 통하여 그 값을 정규화 시킨다.

따라서 각각의 불안전 행동, 불안전 상태, 재해에 대한 값은 다음 식(10)(11)(12)를 사용하여 구할 수 있다.

$$SB = SBW \left[\sum_{i=1}^n SBW_i \times SBD_i \right] \quad (10)$$

$$SS = SSW \left[\sum_{i=1}^n SSW_i \times SSD_i \right] \quad (11)$$

$$SI = SIW \left[\sum_{i=1}^n SIW_i \times SID_i \right] \quad (12)$$

또한 안전 변수의 값은 식(13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = SW [SB \times SS \times SI] \quad (13)$$

4.3 설비평가 적용

위의 항목들과 항목에 대응되는 가중치를 적용하기 위한 설비평가 관리 체계의 평가표를 정리하면 다음 <표 4.1>과 같은 결과를 도출할 수 있다. 따라서 기업에서는 각 단계에 맞는 운영방안을 설정하여 기계설비에 대한 관리를 하게 된다.

또한 평가표에서 확인된 값을 종합 설비지수로 계산하려면 종합재해지수의 공식[1]을 활용하여 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\text{Plant Evaluation Index} = \sqrt{P \times S} \quad (14)$$

본 연구에서 제시하는 평가하는 체계를 활용하면 생산성과 안전성을 모두 고려하는 지표를 구할 수도 있지만 생산성과 안전성에 대한 각각의 위치를 파악하고, 이들에 대한 관계까지도 규명할 수 있다.

<표 4.1> 설비평가 관리 작성(안)

	생산/안전	요소	항목	내용	정규화 값
설비평가	생산(P) 0.58	품질(PQ) 0.42	불량률(PQ1) 0.45	설비가 발생한 불량	
			조업도(PQ2) 0.55	가동시간/근무시간	
		비용(PC) 0.24	손실액(PC1) 0.39	자재비, 노무비, 에너지 등	
			수선비용(PC2) 0.61	모든 수리비용	
		납기(PD) 0.09	후공정 영향(PD1) 0.51	지연시간	
			거래처 영향(PD2) 0.49	지연일	
		유연성(PF) 0.26	고장발생빈도(PF1) 0.27	MTBF	
			평균수리시간(PF2) 0.73	MTTR	
	안전(S) 0.42	불안행동(SB) 0.10	보호구 방호장치 (SB1) 0.82	보호구 방호장치 결함 수	
			작업자 근무연수 (SB2) 0.18	작업자 근무연수	
		불안상태(SS) 0.41	설비결함(SS1) 0.63	설비 방호장치 결함 수	
			작업환경(SS2) 0.36	작업환경 상태가 미흡 부분 수 측정된 공정 작업역 위험 건수	
		재해(SI) 0.49	재해지수(SI1) 1.00	회수×강도 강도 - 사망 : 4점/건 중상 : 3점/건 경상 : 2점/건 무재해 사고 : 1점/건	

5. 결론 및 향후연구과제

21세기의 설비진단이란 고객의 측면과 작업자의 측면을 모두 고려한 생산성 향상과 재해로부터의 손실을 최소화하기 위하여 행하여지는 것으로 생산과 안전은

항상 밀접한 관계를 가지고 있다고 볼 수 있다. 현재 국내 기업들은 기업의 이윤 때문에 안전보다는 생산을 더 중요시 하고 있지만 안전에 대한 중요성을 부각시키고 있는 실정이다. 이는 기존의 설비진단의 경우가 생산성 측면에만 중점되어 있는 것으로 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 설비보전의 개념에 안전관리의 효율성을 높이기 위하여 제조라인에서 운용되고 있는 설비에 대한 생산성과 안전을 고려한 평가기법을 제안하고자 한다.

본 연구에서 제시하고 있는 설비에 대한 생산 및 안전관리를 제조업에서 실시하기 위해서는 각 공정에서 운영되고 있는 설비에 대한 평가방법을 적용하는 것이 효율적인 방법이다. 또한 이러한 사전 예방을 실시하여 제조업의 많은 사고를 줄이고 최적의 생산성을 올릴 수 있는 것이다.

본 연구는 제조업에 일반적으로 적용할 수 있는 생산성과 안전을 고려한 설비평가 관리 시스템을 제안하였다. 하지만 계속되는 연구로 인해서 평가변수의 확립과 사례기업에 적용에 따른 평가방법의 효율성에 대한 증명도 이루어져야 할 것이다.

6. 참고 문헌

- [1] 강경식 외 23인(2005) 『안전경영과학론』, 청문각
- [2] 양광모, 전현정, 강경식, “불확실한 환경하에서의 생산성 증대를 위한 설비시스템 설계”, 한국보전경영학회지, 제9권, 제1호, pp217-229, 2004
- [3] 이영상, 권기수(2003), 『이론과 실무를 접목시킨 하이브리드 TPM』, 한국 표준협회
- [4] 조용욱(1999), “다수의 주관적요소와 객관적 요소를 고려한 다특성지 강건설계” 명지대학교 박사학위 논문
- [5] 조용욱, 박명규, 김용범,(1999) “로봇선택을 위한 의사결정 모델 개발”, 안전경영과학회지 제1권 제 1호
- [6] M. S. Jones, C. J. Malmberg and M.H. Agee(1985), "Robotics: decision support systems used for robot selection" Ind. Engng 20, pp66-73.
- [7] P. Y. Huang and P. Ghandforoush(1984), "Robotics: procedures given for evaluating selecting robots," Ind. Engng Apr, pp44-48.
- [8] Saaty Thomas L.(1994), "Highlight and Critical Points in the Theory and Application of the Analytic Hierarchy process, Eur. J. Operational Research (74)3, pp.426-447
- [9] Saaty T.L.(1980), "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill

저 자 소 개

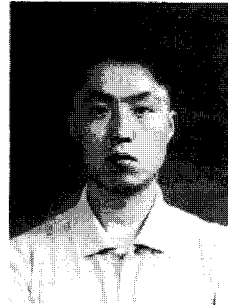
조 용 욱



현재 인덕대학 산업시스템경영과 조교수로 재직 중이며, 관심분야는 품질관리, 실험계획법, 자재관리 등이다.

주소 : 서울특별시 노원구 월계동 산76

서 장 훈



현재 중소기업진흥공단 종합컨설팅실 연구원으로 재직 중이며, 관심분야는 경영혁신, 시스템분석, 품질관리 등이다.

주소 : 서울특별시 영등포구 여의도동

양 광 모



현재 유한대학 산업경영과 전임강사로 재직중이며, 관심분야는 생산관리, 안전관리, 작업관리 등이다.

주소 : 경기도 부천시 소사구 괴안동 185-34