

Expert System을 이용한 전단기 고장 및 안전진단 시스템 구축

-Development of Shearing Machine Fault & Safety Diagnosis System
Using Expert System-

강 경식¹⁾

Kang, Kyong-Sik

나 승훈²⁾

La, Seung-Houn

정 영득³⁾

Jeong, Young-Deuk

박 재현³⁾

Park, Jae-Hyun

Abstract

Industrial safety management program consists of three part which is education, technology and control. The effectiveness of industrial safety control program rely on the ability of controlling hardware system, technology and software, training and management. How to design and develop the shearing machine fault and safety diagnosis system using expert system technique is presented on this paper.

I. 서 론

지난 30년간 상당한 수준의 경제발전을 이룩하였음에도 불구하고 산업재해 혹은 작업자의 건강증진등에 대해서 조금도 그 중요성이 부각되지 않았음이 사실이다. 그러나 1980년 후반부터 근로자의 생활수준의 향상과 안전에 대한 욕구와 더불어 안전제일이라는 기업의 경영정책의 변환으로 근래에 와서는 인간존중이라는 캐치플레이스하에 재해가 생산성에 미치는 영향이 크다는 인식과 함께 산업재해에 대한 시각의 변환이 이루어지고 있으며, 이것이 산업사회 전체에 막대한 영향을 미치고 있는 실정이다. 지난 수년간의 재해 통계를 살펴보면, 재해율은 서서히 감소하고 있는 반면, 중대재해의 발생건수는 증가하고 있다. 1995년 한해 동안만을 보더라도 연간 약 9만명의 근로자가 사망하거나, 신체적 장애를 입었으며, 산업재해 보상액만도 우리 나라 예산의 10%정도인 오조원을 넘었다. 그 중 많은 재해를 야기시킨 사업장

1) 명지대학교 산업공학과

2) 명지전문대학 공업경영과

3) 명지대학교 산업공학과 대학원

† 본 연구는 과학재단의 연구비 지원에 의하여 연구 되었음.

의 규모는 상시 근로자 300인 미만의 중·소 사업장에서 발생하였으며, 제조업분야에서 많은 재해의 기인물은 공작기계인 전단기와 프레스가 대표적이다. 이러한 전단기로 인한 재해의 직·간접 원인은 전단기의 사전 안전성이 확보되지 않았거나 또는 유지, 보수에 미비 및 무리로 높아가고 있는 시점에 이러한 자동화로 인하여 기업의 양적인 생산성 향상의 효과는 획득하고 있으나 질적으로는 동일한 효과를 얻지 못하고 있는 실정이다. 이에대한 주요 원인중의 하나가 설비의 유지 및 보수의 어려움으로 인한 설비의 가동을 저하와 이의 여파로 당연히 발생하는 생산성 저하 현상이 나타나고 있다[표 1].

[표 1 : 자동화 시스템 운영상의 문제점, KPC FA 실태조사, '95.7]

기술부족	A/S 곤란	보수곤란 및 운영상 문제점	고장	성능불량
23 %	11 %	42 %	18 %	6 %

설비의 보수 및 유지 불량으로 인하여 단지 설비의 가동을 저하 뿐만아니라 제품의 품질저하, 다 나아가 다품종 소량생산 시스템하에서 생산관리 기틀이 흔들릴 수 있다. 위에서 언급한 문제점들을 해결하기 위하여 많은 학자가 연구하였고, 연구되고 있는데 생산설비의 복잡성으로 인하여 산업현장에 적용하기가 불가능한 것 또한 사실이다. 이에대한 실제적인 해결방법중 하나로서 전문가 시스템을 이용한 설비의 고장 및 안전진단 시스템 구축에 연구하고자 한다.

오늘날 많은 국내의 학자들이 진단 전문가 시스템의 개발에 많은 연구가 되어 왔고, 되어지는 실정이다. 전통적인 진단시스템의 기법은 해당 기계 및 기기의 인간전문가가 진단하여 그 결과를 도출하거나, 통계적 기법 즉, 부품이나 기계의 Life Cycle 만을 측정하여 그 교체시기를 통계적 방법으로 결정하는 것이다. 그러나 이러한 기법은 인간 전문가가 현장에 상주하여야 한다는 단점과 신뢰도가 낮다는 단점 뿐만 아니라 경제적 측면에서 많은 비용을 감수하여야 한다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 연구가 진행되고 있다. 1995년 Khan, Masood Mehmood는 Hydraulic System 진단을 위하여 전문가 시스템 개발에 관한 연구를 실시하였다. 그는 이 연구에서 Model 베이스 전문가 시스템을 개발하였는데, 이 연구의 문제점은 진단결과를 도출하는데 많은 시간이 소요되는 것이다. 1993년 Matsuura Hiroshi는 Ultrasonic testing을 위한 퍼지 전문가 시스템을 개발 하였다. 이 연구에서 Matsuura Hiroshi는 지식의 표현을 프로덕션 룰을 사용하였고, Inference Mechanism을 위하여 퍼지 기법을 사용하였다. 또한 퍼지 함수를 구하기 위하여 Graphic Theory를 사용하였다. 1991년 Z.Z. Y는 산업용 보일러의 에너지소비 이상진단시스템을 구축하였다 이 연구에서 그는 지식베이스를 위하여 전문가의 의견, 책, 그리고 보일러 매뉴얼만을 이용 Turbo Pascal 언어로 시스템을 개발하였다. 그러나 연구된 방법은 실시간 진단이라는 측면과 사업자의 현장 적용성 및 기술 훈련에 한계가 있다. 이러한 이유에서 본 연구는 사업장 적용성에 적합하도록 Group Technology와 S-D reasoning을 적용하고, 또한 진단 및 기술훈련의 통합시스템을 개발하고자 한다.

II. 전단기 재해 분석

전단기는 주로 철판등을 절단하는 기계로서 상부와 하부의 날사이에 재료를 삽입하고 동력이나 인력에 의해 상부 브레이드 사이를 가압하여 재료를 절단하는 방식으로 이루어 진다. 전단기 재해는 표2에서 보여 주듯이 작업자의 손으로 재료를 투입하는 수동재료송급방식은 자동재료 송급이나 지그를 이용한 송급방식에 비해 매우 위험하다. 더구나 전단기는 재료를 양손으로 밀어 넣어 누른 상태에서 작업을 해야 하므로 동력 스위치를 발을 사용하여 누르는 페달

식 스위치를 사용한다. 작업현장에서는 안전화를 착용하여야 하므로 페달식 스위치를 밟로 누를 경우 스위치의 작동 감각이 무디어 손의 인입 여부와 관계 없이 밟로 페달을 밟고 재료를 전단시킬 수 있어 매우 큰 위험성을 내포하고 있다.

[표 2 : 송급배출 방식별 재해분포]

수동식	완전 자동식	반자동식	수공구 사용	기타
68.6 %	2.4 %	2.5 %	1.7 %	24.8 %

이러한 위험성은 [표 3]과 [표 4]의 기계 작동방식별 조작방식 분포에서 잘 나타난다. 그리고, 폭이 큰 재료를 가공하게 되면 1인이 작업하기에는 무겁거나 취급하기 힘들기 때문에 2인이 작업을 해야 한다. 이런 경우 상대방과 정확한 신호 전달이 되지 않으면 1인이 작업하는데 비해 더욱 더 위험하다.

[표 3 : 기계식 클러치 타입의 조작방식 분포]

페달 스위치	양손조작	한손조작	기타	분류 불능
80.8 %	7.9 %	4.7 %	5.5 %	1.1 %

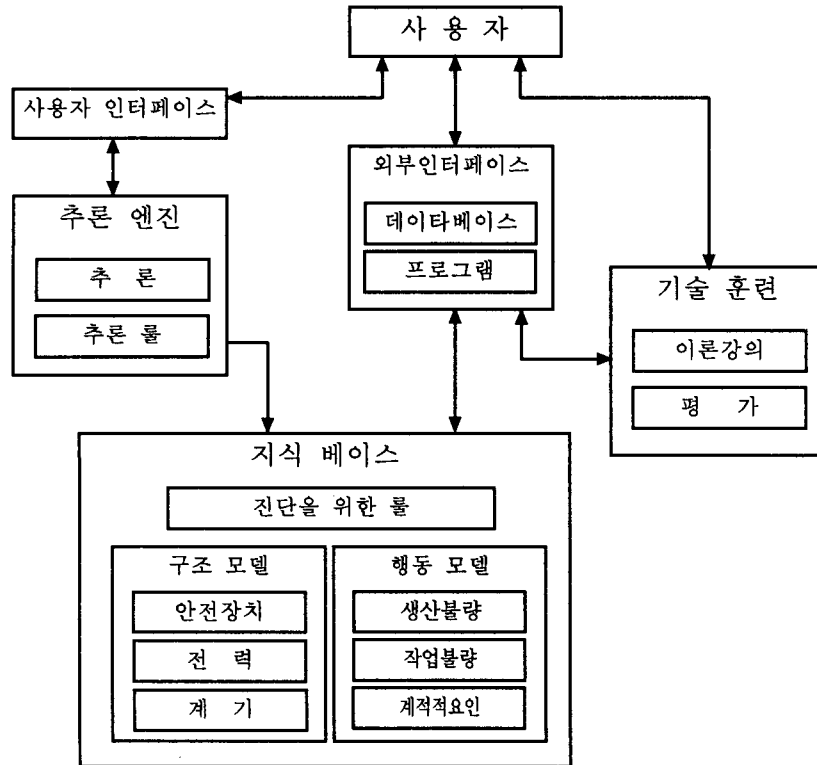
[표 4 : 마찰식 클러치 타입의 조작방식 분포]

페달 스위치	양손조작	한손조작	기타	분류 불능
57.5 %	20.7 %	15.1 %	5.6 %	1.1 %

2인이 작업을 하는 경우는 두 작업자 중 한사람이 스위치를 작동하게 되는데 서로의 의사가 정확히 전달되지 못하기 쉬워 사고가 발생할 확률이 크다. 또한 [표 2, 3, 4] 전단작업 재해 통계 중 송급배출방식별 재해분포에서는 전단 작업에서와 같이 작업자가 손으로 재료를 투입하는 수동작업이 68.6%로 가장 많고 기계작동방식별 조작방식 분포에서는 페달 스위치 방식을 사용하는 경우가 가장 많다. 이러한 재해통계에서도 전단기 작업의 위험성을 잘 나타내 준다. 특히 전단기 작업과 유사한 프레스는 재료를 필요한 형태로 만들기 위해 상하형 금형이 작동되어 제품을 생산하는 것으로써 상하금형이 움직이는 거리를 스트로크라 한다. 프레스는 전단기에 비하여 스트로크가 크며 금형교환이 잦고 다양한 공정이므로 사고의 형태도 다양하며 중대재해가 발생할 수 있으나 전단기의 재해는 주로 손가락이 전단되는 재해가 많다. 그 이유는 프레스의 경우 금형교환 등과 같은 가공작업이 아닌 경우에 발생하는 재해가 많은데 비하여 전단기는 브레이드 가까이서 수작업이 이루어지는 전단가공작업시에 사고가 많이 발생되기 때문이다. 그리고 가드식이나 광전자식 안전장치가 설치되어 있는데도 이를 사용하지 않거나 무력화 시켜놓고 작업을 하다가 재해가 발생하기도 하는데 그 이유는 가드식이나 광전자식 안전장치에 의해 작업중 재료 및 손등에 걸리거나, 작업자의 손이 브레이드 가까이 근접시 광선을 차단하여 작업을 중지시키므로 작업하는데 불편이 커 대부분이 안전장치를 해제하거나 안전장치 기능을 제거하고 작업을 수행하기 때문이다.

III. 고장진단을 위한 지식의 축적 및 전문가 시스템

본 연구의 내용을 크게 나누면 네 가지로 대별할 수 있다. 첫째 인공지능의 한 분야인 전문가 시스템 구축, 둘째 데이터 베이스 시스템 구축, 셋째 전단기의 사전 안전 진단 시스템 구축, 마지막으로 일정 및 교육 시스템의 구축이다 [그림 1: 전체 시스템 구성도].



[그림 1 : 시스템 구성도]

가) 고장 진단을 위한 지식의 축적

고장진단이란 공정 정보를 수용하여 분석하는 것으로 가동중인 공정에서 이상이 발생되었을 경우에 공정 제반의 정보를 이용하여 그 원인을 찾아가내는 것이다. 공정 조업중에 이상이 발생되면 공정 변수의 값은 정상 상태에서 벗어나거나 값의 경향이 변동하게 된다. 고장 진단 전문가 시스템은 이러한 이상을 감지하고 진단하기 위하여 공정 변수 값들을 각각의 할당된 범위 안에서의 변수 상태를 감시해야 한다. 고장 진단 전문가 시스템은 공정 전문가가 공정에 이상이 발생하였을 때 그 원인을 찾는 방법인 경험적 지식을 컴퓨터에 저장하거나 공정 Model을 저장함으로써 고장이 발생하였을 경우 공정 조업자에게 빠른 조언을 할 수 있게 된다[표 5].

나) 전문가 시스템 구축

이러한 고장 진단 전문가 시스템의 기본 문제는 실시간 실행에 있어서 가상적 고장과 실제 고장의 정확한 판단과 많은양의 지식을 주어진 시간 내에 효율적으로 탐색하는데 있다. 고장 진단 방법의 대부분이던 기존의 지식의 지식 방법은 수학적 모델을 수식으로 표현한 정량적 접근 방법과 모델을 표상적으로 표현한 정성적인 방법이 있다. 정량적 접근법은 각 공정의 파라미터 상태 변수를 Luenberger Observer 등의 기법을 사용하여 계산하였으나 호이스트 작업

의 정확한 수학적 모델을 얻기는 어렵다는 점이 커다란 약점이다. 그러므로 표상적 표현을 이용하는 정성적 표현이 많이 사용되고 있다. 그러나 이 정성적인 접근법은 경험적 지식을 사용함으로써 구축이 용이하나 계산 시간이 길어서 빠른 분석에는 약간의 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점의 보완을 위하여 본 연구에서 논리의 추론 방법은 진단 시스템 구축에 있어서 시스템 포퍼먼스면에서 가장 탁월한 Backward Chaining 방법을 사용하며, Hybrid reasoning 방법을 이용한 호이스트의 기계적 고장 요인 및 관리적 요인, 산업안전보건법 및 동시행력에 명문화 되어있는 위험기계의 안전 점검 사항을 이용하여 지식베이스(Knowledge Base)를 구축하였다.

[표 5 : 진단기의 고장 검사 항목 및 기준]

검사항목	검사방법	판정기준
1. 기계 본체 외관	1. 쉽게 떼어낼 수 있는 덮개류를 떼어내고 기계전체에 대하여 균열, 손상, 기타 외관상의 이상유무를 검사한다. 2. 발판, 사다리, 난간, 표시판 및 덮개류의 균열 및 손상의 유무를 검사한다. 3. 푸트스위치 덮개의 이상유무를 검사한다.	균열손상 기타 외관상의 이상이 없을 것
2. 볼트 및 너트	본체각부, 타이로드, 기초볼트 및 너트의 체결상태를 스페너로서 확인한다.	적정하게 체결되어져 있을 것
3. 클러치의 작동	슬라이드를 계속하여 10회 이상 작동시켜 클러치작동의 정확성과 충격상태를 검사한다.	작동시 클러치의 접촉, 이탈이 정확하여야 하며 충격이 없어야 한다.
4. 클러치부의 마모	클러치를 끊었을 때 클러치가 끊기지 않아 이상행정 상태가 발생하는지를 검사한다.	클러치핀 및 클러치 바아 또는 조오 클러치탑 및 클러치 캠에 마모가 없어야 한다.
5. 브레이크 재동능력	1. 브레이크 라이닝이 마모되어 제동능력이 작아졌거나 조정이 느슨 또는 브레이크 라이닝 면에서 유지류 등이 묻었나 확인한다. 2. 램 및 램을 상하 이동시키는 기구가 끊어졌을 때 그 기구가 보유하고 있는 관성력을 흡수하고 램을 반드시 상사점 위치에서 정지되는지 확인한다.	1. 라이닝의 마모가 없어야 하고 유지류 등 불순물이 없어야 한다. 2. 기계가 공전하고 있을 때 "딱딱"하는 울림 등의 장애가 없어야 한다.
6. 슈 또는 밴드 브레이크 라이닝	1. 슬라이드를 하사점에서 정지시키고 브레이크를 분해 하여 라이닝의 균열 유무 및 마모상태를 검사한다. 2. 기름이 묻어 있나를 검사한다.	1-1) 마모량은 제작회사가 지정하는 한도내에 있을 것 1-2) 균열 또는 심한 편마모가 없을 것 1-3) 라이닝이 작은나사 등으로 체결되어 있는 것은 나사의 머리 등에 마모가 없을 것 2. 기름이 묻어있지 않을 것

검사항목	검사방법	판정기준
7. 브레이크 드럼의마찰면	브레이크를 분해하여 상처의 상태를 검사한다.	상처를 받은 부분의 면적이전 마찰면의 1/3이하 이고 상처가 심하지 않을 것
8. 브레이크 드럼을 고정하는 키	브레이크를 분해하여, 브레이크 드럼을 회전방향으로 움직이면서 축의 외주에 대하여 유격을 검사한다.	유격이 0.2 mm이하일 것
9. 브레이크 체결스프링	일행정운전을 하면서 스프링의 장력상태를 수회 검사한다.	파손 또는 비틀림이 없고 코일이 밀착되어 정확히 조정되어 있을 것
10.브레이크 지점핀스프링용 볼트 및 너트 등의 부품	균열 및 손상의 유무를 검사한다.	균열 또는 손상이 없을 것
11. 브레이크 슈 또는 밴드	브레이크를 분해하여 균열 및 손상의 유무를 검사한다.	균열 또는 손상이 없을 것
12. 공기실린더 및 스프링	브레이크를 분해하여 마모, 손상 및 스프링의 파손과 비틀림의 유무를 검사한다.	마모 또는 손상이 없고 또한 스프링은 파손 또는 비틀림이 없을 것
13. 디스크 브레이크 마찰판, 누름판, 받침판 및 브레이크 체결스프링	1. 슬라이드를 하사점에 정지시킨 상태에서 주전동기를 정지시키고, 브레이크를 미동으로 작동 시켜서 누름판의 움직임을 수회 검사한다. 2. 누름판의 스트로크를 틈새 게이지로 검사한다.	균열, 손상 기타 외관상의 이상이 없을 것

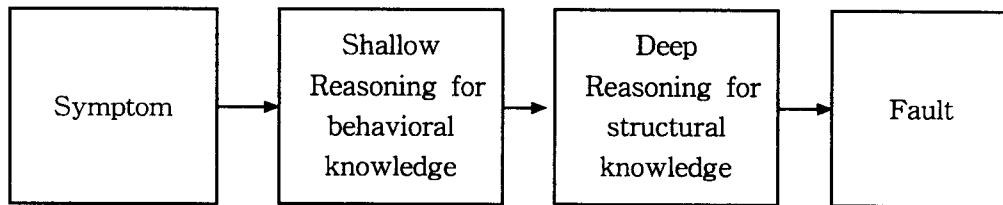
표층 지식표현법은 인공지능의 대표적인 형태로 주로 경험적 지식의 관계를 패턴매치로 추론하는 형태로 심층지식표현(Deep Reasoning for structural knowledge)에 비하여 표현 방법이 쉬우며 현재 개발된 대부분의 인공지능 개발 시스템이 이 표층지식표현 방법이 중심이 되어 부수적으로 수치계산을 하는 형태이므로 따로 개발 시스템을 만들 필요가 없다는 장점이외에도 학습능력과 퍼지 이론등 다른 방법의 적용이 용이하다. 그러나 단점으로는 비구조적 형태로 각 고장의 제층을 주기가 어렵고 주로 경험과 직감으로 구성된 시스템으로 지식 표현의 한계를 신용할 수 없고 완성된 시스템 그 공적에서만 적용되므로 확장성이 떨어진다. 또한 복잡한 작업에 대한 실제 작업의 진단에 있어서 시간 제약으로 인하여 지식표현의 개수에 약간의 어려움은 있다. 이러한 이유에서 본 연구에서는 아래에 설명할 심층지식표현법과 병행한 Hybrid 방법을 적용하였다. 심층지식표현법은 공정 진단하려는 범위의 열, 소음, 물질의 운동량 등의 물리적 표현을 기초로 이런 값들의 오차를 감지하여 고장을 진단하는 방법으로 정확한 물리적 표현이 가능하다. 또한 이 기법은 경험적 지식의 표현이 다소 난해하다는 단점은 있으나 표층 지식표현방법의 도움으로 본 연구에서 구축할 시스템에는 문제의 발생을 근원적으로 해결된다.

이 기법은 기본적으로 3가지의 형태 분류가 가능한데 이는 Causal search, Governing equation method, 그리고 Hypothesis & Test Strategy 방법이다. Causal search 방법은 감지된 현상의 데이터를 이동 모델의 경로를 따라 고장원인을 찾는 방법으로 Iri와 O'Shima에 의하여 기초가 제안된 부호유향그래프가 가장 대표적인 형태이다. 이는 각 노드로부터 얻어진 값으로 고장을 진단하는 방법이다. 결과가 여러개의 가상적인 고장형태로 얻을 수 있다는 단점인

있으나 다른 방법과 병합하면 장점이 된다. Governing equation method는 모델기반 고장진단의 방법으로 두 개 이상의 센서를 이용하여 센서 고장과 수학적 모델을 기반으로 물질이동의 이상을 찾는 방법이다. 수식의 형태로 표현도리 열, 물질등의 물리적 값들은 공정상태로 원하는 설정점과 센서로부터 얻어진 데이터를 비교하여 고장원인을 찾는 방법으로 이때 센서데이터를 필터를 이용하여 얻은 공정 파라미터의 변화로 고장을 결정하는 방법이다. 이러한 공식은 대부분 다음과 같다.

센서데이터 - 설정점 < 운전가능범위의 차

이렇게 얻어진 고장원인에 관한 가정들은 각 변수의 상태가 C_i^+ , C_i^- , C_i^0 의 형태로 표현된다. 대상공정의 모든 가능한 고장으로 이루어진 집합들을 F라하고 그 요소를 이용하여 다음을 만족하는 고장 가정집합인 H_i^+ , H_i^- , H_i^0 를 준비한다. Hypothesis/Test방법은 인간이 고장진단을 할 때 처럼 전체공정의 상태를 관찰한 후 가정과 결과를 비교하여 고장원인을 점진적으로 Search하는 방법이다.가정한 값은 정성적 묘사로부터 얻어져서 측정된 값들을 비교하여 점차 그범위를 줄여나가서 원인을 찾는다. 본 연구에서 제안한 진단 전문가 시스템의 흐름도는 [그림2]와 같다.



[그림 2 : S-D 추론]

진단 전문가 시스템의 흐름도는 증상이 시스템에 의하여 감지되면 Shallow reasoning 방법으로 behavior 지식베이스를 검색한 후 Deep reasoning기법으로 구조 지식베이스를 검색한다. Behavior 지식베이스는 각각의 룰이 의사결정할 수 있는 규칙을 가지고 있기 때문에 복수의 레벨로 조직되어 있다.각 수준에 있어서, 결정은 연속적으로 연결된 룰을 테스트 한후 그 룰이 작동되는지 아니면 그렇지 않은지를 결정한다.이러한 이유에서 각 룰은 두가지로 연결되어 있다. 데이터 베이스 시스템은 전문가 시스템으로부터 얻은 고장의 원인을 기초로 하여 비정상적인 요인들의 가능성이 가장 높게 나타난 부위부터 순서에 따라 점검한다.그리고 이상요인에 대한 조치의 방법을 사용자 즉 작업자에게 지시하는 방법으로 텍스트 모드의 형식을 가지고 있다. 이를 이용하여 작업자는 이상 부위의 점검 및 점검시 마다 이상발생 횟수와 점검 내용을 저장하여 이상발생횟수현황,고장시간현황,주기등을 인지하여 사전에 유지,보수,활용할 자료를 제공한다. 본 연구에서 구축한 데이터베이스의 모형은 크게 5개의 모듈 도움말,고장명 한글 데이터 베이스모듈,금일의 점검사항,금일의 교육내용,작업순서 및 보수데이터 베이스모듈로 이루어져 있다.또한 고장명 한글데이터베이스는 7개의 썬드 모듈로 이루어져 있다.

- ① 진단기 몸체 모듈
- ② 브레이크모듈
- ③ 배관 및 이음쇠 모듈
- ④ 모터 및 전기장치모듈
- ⑤ 콘트롤로 모듈
- ⑥ 권과방지장치모듈

또한 금일의 점검사항 모듈은 요인별로 6개의 서브모듈로 구성되어 있다.

- ① 월요일 (본체, 권과방지장치)
- ② 화요일 (모터, 전기장치 및 관련부품)
- ③ 수요일 (배관 및 이음쇄 및 관련부품)
- ④ 목요일 (로드체인 및 관련부품)
- ⑤ 금요일 (컨트롤로 및 감전관련 부위)
- ⑥ 토요일 (급유 및 벨트)

여기에 금일의 교육내용은 요인별로 다음날 점검사항을 미리교육하도록 하였다.

- ① 월요일 (급유 및 벨트)
- ② 화요일 (본체, 권과방지장치)
- ③ 수요일 (모터, 전기장치 및 관련부품)
- ④ 목요일 (배관 및 이음쇄 및 관련부품)
- ⑤ 금요일 (로드체인 및 관련부품)
- ⑥ 토요일 (컨트롤로 및 감전관련 부위)

마지막으로 작업순서 및 보수의 서브모듈은 작업순서 및 보수 순서에 입각하여 시작부터 종료 까지 담당할 수 있도록 구축하고 있다. 또한 입출력 화면 설계는 최종의 사용자 편리성에 역점을 두고 구축되었으며, 입력화면은 전문가 시스템[그림 3]과 데이터베이스 관리 시스템으로 되어 있다. 전문가 시스템의 진단 결과는 보다 정확한 진단과 그에 대한 수리비용이 진단비용이란 항목으로 출력된다.[그림 4]

V. 결론 및 기대 효과

전단기로 인한 재해의 피해는 날로 심각해져 가고 있으며, 이로 인해 재해의 특성은 복구가 된다 하더라도, 장애자로서 평생을 지내야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 혁신적인 방안으로서 인공지능 기능을 장착한 전단기 고장 및 안전진단 시스템을 개발하여 전단기 작업공정에 도입함으로써 시스템을 개발하여 현장에 도입함으로써 아래와 같은 기대효과를 기대할 수 있다. 첫째 설비 및 공정의 효율성 증대이다. 생산설비 및 공정의 안전성이 확보됨에 따라 재해비용이 절감되고 이상상태의 조기 진단으로 전단기의 효율을 극대화 한다. 둘째 인적 자원의 양성 및 확보이다. 미숙련공의 기능 교육 및 안전 교육을 통하여 인력의 양성 및 확보에 기여 하며, 전단기 전문기술자의 확보에 따른 어려움이 해결됨과 동시에 안전 설비 및 공정에 관한 정보의 효율적 관리뿐만 아니라, 이상 유무에 대한 진단 및 수리에 관한 정보의 시각화를 기한다. 넷째 통제 및 변경의 용이함 이다. 시스템과는 달리 시스템의 확장에는 거의 무관하게 분할된 통제 방법을 따르므로 통제면에서 보다 용이하고, Object-Oriented된 알고리즘을 통해 시스템설계가 되므로 그 변경이 용이하다.

참고문헌

- 1) Kang, Kyung-sik & La, Seung-houn, "Development of Computer Intergrated Safety System Using Personnel Computer", Proceedings of 16th International Conference on Computer & Industrial Engineering, 1994.
- 2) Adedeji B. Badiru, "Expert System Application in Engineering and Manufacturing", Prentic Hall International, 1992.
- 3) C. H. Lee & J. E. Biegel, "Detailed Design of a Simultaion Based Intelligent Safety Training System, Advanced in Industrial Ergonomics and Safety II, Tayolr & Francis, 1990.
- 4) Donald A. Waterman, "A Guide to Expert Systems". Addison-Wesley Publishing, 1986.
- 5) Jay Liebowits, Daniel A. De Salvo, "Structuring Expert System", Yourdon Press, 1989.
- 6) Kang, Kyung-sik & La, Seung-houn, "The Development of Prototype Expert System for Fault Detection and Action Priority", Journal of Korean Institute of Industrial Safety, Vol.7 NO. 4, 1992.
- 7) Kang, Kyung-sik, K. A. Ebeling, & La, Seung-houn, "The Optimal Location for Inspection Station Using a Rule-Based Methodology", Computer & Industrial Engineering, Vol. 19, No.1-4, 1990.
- 8) 강경식, 김동환, " 생산라인의 설비효율 증대를 위한 CBT시스템 구축에 관한 연구", 한국 산업안전학회, 1994.
- 9) 강경식, 김동환, " 전문가시스템을 이용한 컴퓨터 기초 훈련 체제에 관한 연구" 한국정보처리 응용학회, 1994.