

# 제조업체 NC 동작기계의 모니터링 및 안전 상태 검사 시스템 개발에 관한 연구

박광렬<sup>1\*</sup> · 이철수<sup>2</sup>

<sup>1</sup>씨에스캠(주) / <sup>2</sup>전남대학교 산업공학과

## A Development of Prototype System for Monitoring and Checking the Safety-Status of NC Machines

Gwang-ryeol Park<sup>1</sup> · Cheol-soo Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CSCAM Co. Ltd., Gwangju, 500-757

<sup>2</sup>Industrial Eng. Dept. Chonnam Nat'l Univ., Gwangju, 500-757

In this study, the prototype of a system for checking risk-factor of NC machine is proposed. The proposed system can get the risk-related information by monitoring the status of real-time processes of NC machines. Using the information, the accidents can be prevented by the background process of an expert system tool. This paper consists of 2 parts: (1) the method for gathering data and definition of the risk-related factors of NC machines and (2) the procedure for finding the proper actions by using the forward chaining of a rule-base. Proposed system is implemented with C++ language under MS-windows.

**Keyword:** monitoring, safety, NC, rule base, forward chaining

### 1. 서론

#### 1.1 연구 배경 및 필요성

최근 생산성 향상과 원가 절감을 위한 공장자동화가 점차 확대되고 특히 기계가공 분야에서는 NC(Numerical Control) 기계에 의한 자동화가 더욱 광범위하게 이루어지고 있다. NC 기계는 작업과정의 일정 시간 동안 사람의 개입 없이 정해진 일을 수행할 수 있는 장비이다. 이러한 자동화 장비는 주로 프로그램에 의해 정해진 일을 수행하는데 프로그램의 오류에 의해서도 안전 사고가 발생할 우려도 있지만 안전 장치의 비정상적인 운용과 부주의한 조작에 의한 경우도 많다. 실제로 모든 재해가 감소하고 있음에도 불구하고 제조업에서 발생하는 기계 재해는 증가 내지는 제자리 걸음을 하고 있다.

우리나라 2001년도 업무상 재해 부상자의 산업별 분석 결과,

제조업 3,103명(43.0%), 건설업 1,689명(23.4%)으로, 2개 산업이 전체의 약 66.4%를 차지하는데 <표 1>에서 제조업체의 원인 별 통계를 보이고 있다. 재해 발생 형태로는 협착·감김이 1,554명(21.5%), 충돌·접촉 1,532명(21.2%), 전도·전복 1,342명(18.6%) 등 물체 및 설비에의 접촉으로 인한 재해가 전체 재해의 87.0%를 차지했다. 재해 발생의 주요 작업내용으로는 운반 및 상·하역작업이 1,680명(23.3%), 물체의 가공·취급 작업이 1,529명(21.2%)이 차지했다. 불안전한 상태 중 작업공정의 결함 3,161명(43.8%), 작업 또는 장소의 근본적 위험요인 1,771명(24.5%), 작업장소 불량 및 부적절 702명(9.7%)이 주요 재해 발생 원인으로 나타났다. 또한 불안전한 행동으로 기인된 재해 발생의 주요원인은 불안전한 작업 수행 3,456명(47.9%), 작업수행 중 과실 1,870명(25.9%), 물체설비 및 기구의 부적절한 사용이 1,189명(16.5%)으로 전체 90.3%를 차지하고 있다고 한국산업 안전공단에서 밝히고 있다(2001).

본 연구는 2003년도 전남대학교 연구비 지원에 의해 수행되었음.

\*연락처 : 박광렬, 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300 전남대학교 산학협력공학과 608호, Fax : 062-530-0816,

E-mail : grpark@cscam.co.kr

2003년 5월 접수, 2회 수정 후 2003년 12월 게재 확정.

제조 기술의 현저한 진보에 따라 기계류가 점점 대형화, 고속화되지만 기술의 진보에 수반하여 위험성이 증대되고 있다는 사실에 주목해야 한다. 설비의 고속화나 시스템화가 가속화될수록 설비 교체가 빈번해 질 수 있으며 설비 투자비의 조 기회수를 위해서는 가동률을 높이는 경향이 있다. 이런 과정에서 오동작과 조작 실수 등으로 발생하는 예상하지 못한 재해로 인한 인적, 물적 피해가 심각하다. 또한 재해는 작업자의 사기를 크게 저하시켜 생산성 향상과 고품질의 제품 생산을 기대하기 어렵게 만든다. NC 장비는 기본적인 안전 장치 및 회로가 장착되었지만 사고 통계를 보면 아직 안전에 대한 많은 조치가 필요함을 알 수 있다. NC 기계의 자동 가공 및 수동 조작 과정에 기계의 상태를 실시간으로 검사할 수 있다면 안전에 문제를 야기할 수 있는 상황을 예측할 수 있게 된다. 기계의 여러 가지 상태를 인자로 하고 위험 상황을 예측되는 규칙에 따라 미리 판단할 수 있는 것이다. 이 때의 인자 값은 실시간에 가깝게 얻어야 하므로 전기적 접점신호 또는 빠른 통신에 의해 구해져야 한다. 또 판단과 조치는 작업자의 개입 없이 NC 장비와 컴퓨터에 의해 즉시 이루어질 수 있어야 한다.

1.2. 연구의 범위와 내용

산업기계의 안전에 관한 연구는 크게 다음 세 가지 분야에 서 접근할 수 있을 것이다. 첫 번째로는 작업자의 안전 교육에 관한 접근이고, 두 번째로는 설비의 인간공학 및 시스템 공학 적인 설계와 구성에 관한 접근, 마지막으로 본 논문과 같은 기계의 위험 방지 기술에 관한 연구이다.

본 논문에서는 먼저 자동화된 공장의 NC 장비에 대한 가동 상황을 네트워크를 이용하여 기계의 외부에서 파악할 수 있고 기본적인 진단이 가능한 시스템 구성의 원형을 제안한다. 실시간으로 모니터링되는 기계의 상태와 각 상태에 따른 잠정적 인 안전 위험 요소를 미리 감지하기 위해 관련 분야의 전문가 가 미리 컴퓨터에 입력한 규칙인 지식 베이스에 의해 상황에 대한 조치를 지정할 수 있다. 위험 방지를 위한 조치는 세 가지 로 구분한다. 먼저 단순하게 이력 데이터에 상황을 기록하는 방법이다. 두 번째는 잠정적인 위험 요소에 해당하는 경우에 경광등이나 경고음 등으로 주위를 환기시키는 것이다. 마지막으로 기계의 파손이나 작업자의 안전에 위협이 되는 경우에는 기계를 정지할 수 있다. 각 위험 상황에 대한 이력은 모두 데이터베이스로 보관하여 제안된 시스템의 보완과 안전 검사 규칙

등에 재사용될 수 있을 것이다. 본 논문에서는 데이터베이스 의 설계와 관리, 재사용에 관한 것은 다루지 않는다.

그 다음으로, 시스템의 구현을 위한 하드웨어 구성 및 소프트웨어 모듈의 구현 방법을 함께 제시한다. NC 기계는 가장착 된 스위치나 PLC의 접점, 별도의 독립적인 센서 그리고 NC 컨트롤러의 상태 전송 프로토콜을 이용하여 장비 상황 및 작업 의 진행도를 파악할 수 있다. 본 연구에서는 별도의 산업용 PC 에 의해 데이터를 취득하도록 하였는데 대화형 환경이나 디스플레이가 불필요한 경우에는 네트워크 기능과 통신 포트를 내장한 마이크로 프로세서를 장착한 전용 CPU 장치(혹은 POST PC)로 그 역할을 대치할 수 있다(SENA, 2003). 공장의 장비에 대한 이상 동작 유무와 동작 절차 및 지정된 프로그램과 다르게 수행되는 상황이 실시간 모니터링(real-time monitoring)에 의해 감지되면, 데이터 수집(data gathering)으로 얻어진 여러 인자 의 값을 이용해 적절한 조치가 온라인 제어(online control)로 이루어질 수 있다. 경광등이나 경보, 장비의 비상 정지 등의 조치가 출력 신호에 의해 이루어지면 작업자의 안전과 장비의 수명 연장, 고장 사전 예방에 도움이 될 뿐만 아니라 궁극적으로 는 생산성 향상을 기대할 수 있을 것이다.

1.3. 관련 연구 및 기존 사례

산업 재해에 대한 발생 원인 및 특성에 관한 연구는 통계 자료의 분석 등을 이용하여 계속되어 왔다(정병용, 1997). 최근 설비 관리과 재해 예방의 연관을 통한 연구가 이루어졌는데, 특히 설비 안전의 중요성이 부각되면서 TPM 추진 과정의 설비 관리를 위한 다양한 접근 방법이 제시되었다(회복돈, 1999). 또한 안전보건 경영 시스템이 수년 전에 국내에 소개되면서 의 료 등의 전문 분야에서도 다양한 연구가 이루어지고 있다(김양호, 2003).

실시간으로 데이터를 취득하여 품질 관리 또는 생산 일정 관리에 이용한 연구가 있었다(정방환 외, 1995; 권명일 외, 1995). 이 연구에서는 전자 부품산업과 반도체 조립장의 공정 및 설비와 작업 관리를 위한 모니터링 시스템의 개발과 구현을 시도하였다. 이 기종의 수치제어 장치의 PLC 신호와 RS-232C를 이용하여 양방향 통신이 되는 데이터 통신 전용 장치의 개발에 대한 연구가 있었다(이승우 외, 1995). 본 연구에서도 이와 유사한 방법으로 일부 데이터를 취득하지만, 취득 데이터를 PLC 신호에 국한하지 않았고 데이터의 전송은 Web 또는 인트

표 1. 2001년도 제조업체의 원인별 부상사고 통계 (한국산업안전공단)

총 계	물체가공 취급작업	기계, 차량 등 운전, 조작	유해· 위험물 취급	운반 및 상·하역	기계설비 등 설치, 해체 및 보전	건축, 토목공사 (설치, 보수)	채광, 별목 등의 작업	행정, 의료, 청소 등의 작업	비작업적 인 행위, 동작	
3103	1384	128	4	753	405	32	3	194	199	1
100.00%	44.60%	4.13%	0.13%	24.27%	13.05%	1.03%	0.10%	6.25%	6.41%	0.03%

라넷 환경을 위해 TCP/IP 기반으로 한 데이터 통신 방식을 채택하였다. 이러한 네트워크 환경을 사용하면 기존의 제조 설비 업체 DBMS 시스템의 Server/Client 환경을 이용하여 기계 상태 및 안전 검사 관련 정보를 관리하기가 더욱 용이하다. 데이터 취득 및 DBMS 관리를 위한 상용 시스템(Rokwell, 2003)이 있는 바, 모니터링에 관련한 개발자 모듈은 제공하지만 타사 NC 장비와는 연동이 되지 않는다. 필요에 따라 다양한 장비를 구매하는 경우는 이러한 상용 시스템의 구축에는 많은 어려움이 있지만 통합적으로 운용되는 단일 회사 제품의 자동화 장비로 시스템을 구성하는 장치산업 등에서는 상용 모니터링 시스템이 일부 이용되고 있다.

본 논문에서는 기계 상태 인자를 이용해 안전 검사를 할 때 전문가 시스템을 이용한다. 데이터베이스와 전문가 시스템과의 상호 작용 시스템으로 작업 부하를 관리하는 방법에 대한 연구 사례가 있었다(정화식 외, 1996). 전문가 시스템은 인공지능 기법을 많이 활용하는데 지식 베이스와 자연 언어 그리고 퍼지나 신경망 등의 이론이 많이 응용된다(Revine et al, 1990). 본 연구와는 접근이 다르지만 퍼지 이론으로 고장 진단과 고장 위치 추적 등의 프로세스를 구성하여 안전 진단에 이용한 사례가 있다(김병석 외, 1996).

NC 장비는 대부분 각 입출력 접점에 대한 시퀀스 로직을 주로 PLC로 처리하고 있으며 안전에 관한 기본적인 인터락(interlock) 회로를 세팅한 상태로 출고된다. 사용자는 추가로 PLC에 시퀀스 프로그램을 Ladder Diagram 등으로 추가할 수 있는데 그 기능은 미비하고 구형 장비는 더욱 심한 편이다.

## 2. 시스템의 개요

### 2.1 시스템의 개요

시스템 구성의 개략은 <그림 1>과 같다. 본 논문에서의 연구

범위는 굵은 사각형 내부이다. ‘입력 신호 감지’와 ‘제어 출력 신호’는 NC 장비와 전기적 신호(0,+5V,+24V 등)가 직접 연결된 입출력 접점(I/O point)이다. ‘Expert System’과 Data Gathering’은 산업용 컴퓨터에서 작동되는 소프트웨어 모듈이다. 위험이 잠재된 입력 신호 감지와 장비 정지나 경고 등과 같은 출력은 설비나 작업장의 안전에 민감하므로 운영체제에서 최우선 순위의 프로세스로 지정한다. 로그 정보(log information)는 일정한 간격의 타이머 이벤트 메시지가 발생하거나 위험 레벨에 해당하는 신호가 감지되는 이벤트가 있을 때 자체 누적되다가 지정된 시간 간격이 되면 데이터 서버로 전송된다.

센서와 스위치를 통해 들어오는 입력 신호는 각 상태를 0과 1 신호로 인식하며 각 신호를 규칙에 의해 조치 방법을 결정하고 안전 검사 프로시저에서 규칙에 따라 다시 0과 1 신호로 알람 등의 출력 장치를 제어하는 방식을 사용하였다.

### 2.2 설비 상황의 실시간 감지

공장의 장비 이상에 대한 대처 시간은 생산성에 매우 민감하며 특히 병목 현상에 대비하는 것은 매우 중요하다. 국내 기계/금형 부품 가공 업체 공장의 경우 장비 1대가 50평방 미터가 넘는 면적을 차지하는 경우가 많고, 조선소의 절단 장비의 경우 100 평방미터를 훨씬 넘는다. 따라서 공장 내에서 발생하는 위험 상황의 감지는 전기/전자적인 방법이 아니면 매우 둔감할 수밖에 없다. 본 연구에서는 다음의 3가지 방법을 이용하였다.

- (가) NC 컨트롤러의 protocol을 이용하는 방법
- (나) PLC 신호, 전기 접점 신호를 받아오는 방법
- (다) 접점 신호를 통신 protocol로 변환하여 네트워크로 보내는 방법

NC 컨트롤러의 protocol을 이용하면 DNC를 이용하여 여러 NC data를 미리 다운로드 해놓은 상태에서도 현재 어떤 NC

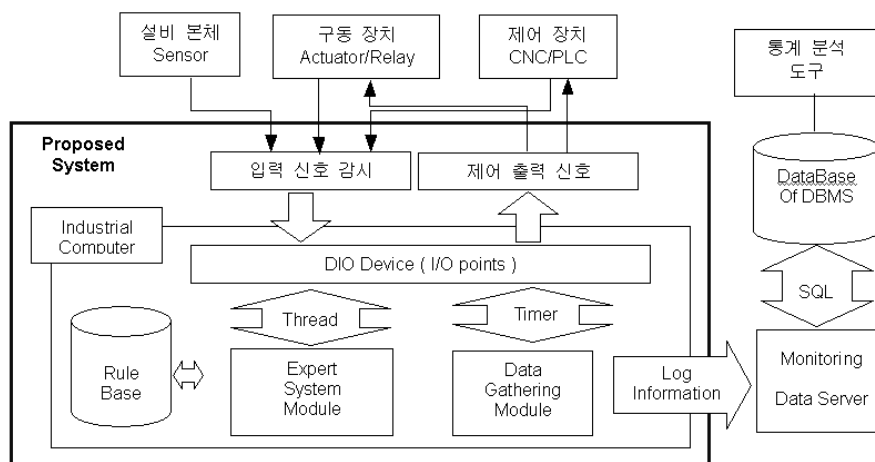


그림 1. Overall Process of Proposed System.

data의 작업을 얼마나 진행하고 있는지를 모니터링 시스템에서 파악할 수 있다(이철수, 1992). 제조업에서 사용하는 NC 기계는 대부분 잘 알려져 있는 형식의 NC-data에 의해 동작된다. NC 기계에 NC-data를 공급하는 DNC 시스템은 이미 상용화된 기술이지만 NC 기계에서 NC-data의 가동 상황까지 모니터링하는 것은 아직 관련 연구가 미비한 상황이다. 전기 접점 신호를 얻는 경우는 릴레이와 PLC의 접점 등을 포토 커플러와 연결하여 사용하였다. 특히 컴퓨터로 이러한 신호를 받기 위해서는 A/D 변환기와 Digital 신호를 컴퓨터가 받을 수 있는 신호로 바꾸어 주는 프로토콜 변환 장치가 필요하다. 본 연구의 적용 과정에서는 프로토콜 변환 장치를 개발하여 사용하였다.

### 2.3 소프트웨어의 구성

두 가지 주요 모듈이 백그라운드 모드로 실행되도록 구성하였다. 하나는 설비에서 오는 신호가 잠재 위험 신호인지를 규칙 베이스(rule base)를 이용하여 확인한 후 적절한 조치를 해주는 모듈이고, 다른 하나는 일정한 시간 간격으로 데이터 서버로 기계의 상태 등을 전송해 주는 모듈이다. <그림 2>와 <그림 3>에서 각각 이 두 가지 모듈의 구성을 보이고 있다.

소프트웨어는 MS-Windows 환경에서 thread를 이용하여 제작하였다. 이유는 실시간에 가깝게 신호를 모니터링하기 위해서인데 thread는 CPU가 원하는 특정 프로세스를 우선 처리하도록 지정할 수 있다. 이미 언급한 NC 컨트롤러와의 통신도 thread 모듈이 담당하도록 하였다. Thread 모듈은 각 기계의 스위치 상태(접점 상태)와 NC 컨트롤러와의 통신을 담당한다. 연구 수행 과정에서 조사한 바로는 최근의 NC 컨트롤러는 모두 양방향 통신을 지원한다. 일부 구형 FANUC 계열은 별도의 부가 장비를 추가해야 한다.

타이머 모듈은 일정한 시간 간격으로 기계의 상태와 안전 감지 시스템의 처리 내역을 기록하기 위해 사용하였다. 매 간

격으로 발생하는 메시지 처리 루틴과 thread 루틴에서 사용자 정의 메시지(예: WM\_SIGNAL)를 발생하고, 이 메시지 처리 루틴에서 LOG 정보를 보관하다가 일정 시간 간격으로 모니터링 데이터 서버로 전송하고 기존의 LOG 정보를 삭제한다. <그림 2>에서 'Instance'는 잠재 위험 신호가 시퀀스와 관련 있는 경우를 처리하기 위해 기존의 신호값이 변하기 전에 보관해 두는 메모리이다. 이 메모리는 뒷부분에서 설명하는 규칙 베이스를 이용한 조치 사항 결정 모듈에서도 사용된다.

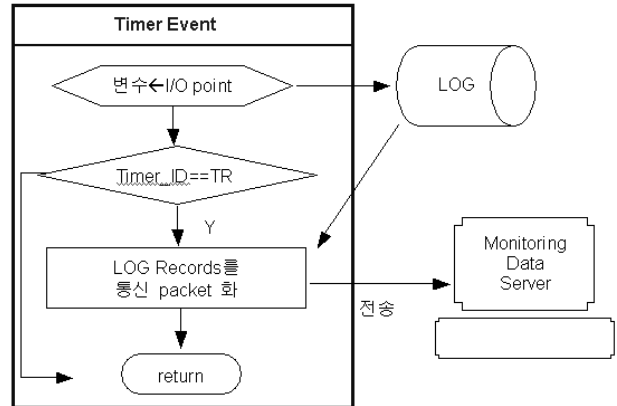


그림 3. Time-critical Procedure Using WM\_TIMER.

### 3. NC 기계의 상태 검사

어떤 센서의 신호 또는 접점 신호 등의 상태에 의해 결정된 위험 요소는 장비별로 다르게 언어될 수 있다. 위험 요소는 조치 수준에 따라 경고 수준과 기계 정지 수준으로 구분하였다. 경고는 잠재 위험 상황 등에서 발생하고 작업자 위험이나 기계 파손 등의 급박한 상황으로 판단되면 비상 정지 등을 On하게

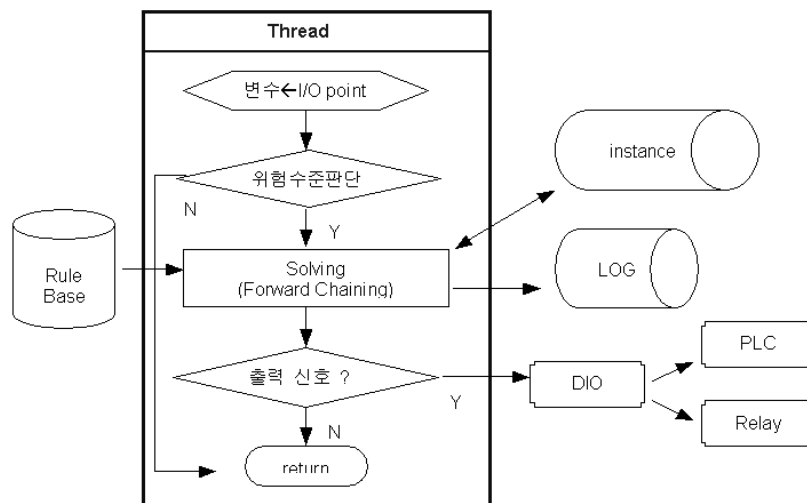


그림 2. Real-time Procedure Using Thread.

된다. 대부분의 NC 장비는 인터락(interlock) 장치를 이용하여 기본적인 안전 경고 및 비상 정지 작동을 지원한다.

### 3.1 사출기의 위험 요소

사출 성형기는 동력을 이용하여 용융된 수지나 고무를 폐쇄된 금형 내부에 불연속적으로 고속 사출시켜 성형품을 만드는 기계이다. 사출기 산업재해 중에서 협착재해가 가장 많은 비중을 차지하는데, 원인은 안전문의 미설치나 기능 무효화가 재해 주요 발생 원인으로 파악되고 있다. 이에 따른 안전성 확보를 위해서는 인터락 회로에 의한 전기식, 안전문에 연동 캠벨브를 기구적으로 연동시키는 기계식, 안전문에 연동 캠벨브를 설치하여 유압 라인을 차단하도록 유압식 등의 장치가 주로 기본 장착되는데 작업자들은 번거롭다는 이유로 기계설정을 변경하여 사용하는 경우가 종종 있다. 이 경우에 A접점(normal OPEN) 또는 B접점(normal CLOSE) 타입의 근접 스위치와 안전문의 개방 이탈 신호를 추가 장착된 센서로 받아 상태 인자로 사용한다. 이 신호가 주어진 조건에 만족하면 이에 대한 조치로 금형 전진 회로를 차단한다.

### 3.2 방전기와 밀링 및 절단기의 위험 요소

NC 밀링 장비는 금형을 만드는 데 가장 많이 이용되는데, 금형과 공구의 상대적 이동에 의한 절삭 가공으로 원하는 성형 부위를 만들어 내는 기계이다. 방전 가공기는 공구 대신 전극을 사용하여 금형과의 방전 현상을 발생시켜 금형의 성형부를 만들어 낸다. 두 장비 모두 NC 데이터를 이용하는데 전극은 주로 z축 이동만 하기 때문에 동작 범위에 의한 위험도는 매우 적어 주로 가드(guard)만 설치하면 되는데, 또 장시간 무인 가공하는 경우가 많다. NC 밀링 기계도 안전문을 사용하지만 사출기와 같이 주기적으로 성형품을 꺼내는 경우가 없기 때문에 유사한 사고의 가능성은 상대적으로 적다. NC 밀링 장비의 경우 가공 중간에 절삭유의 부족에 의한 공구의 파손, 공구 파손 상태에서의 자동 가공의 계속 상황 등에 의한 설비의 안전이 문

제이다. 절삭유나 윤활유 등은 게이지 또는 별도의 센서로 상태를 알 수 있도록 하여 그 값을 안전 검사 시스템의 인자로 추가할 수 있다. 두꺼운 강판을 절단하는 플라즈마 절단기의 경우 컨베이어와 토치의 동작이 인터락되어야 한다. 토치가 실제로 on 또는 off 되어 있는지는 토치 끝단부 장치의 전압을 확인하여 플라즈마의 on상태를 확인할 수 있다. NC 컨트롤러의 쌍방향 통신 기능을 이용하여 토치의 상태를 M코드의 순서로 판단할 수도 있는데 이 방법은 off-line 상태에서도 감지가 가능하다.

<표 2>에서 밀링이나 커팅 장비의 인자가 보관되는 변수 이름과 값의 형식을 보이고 있다. 이 값들은 thread에 의해 거의 실시간으로 얻어진다. <표 2>의 변수 중에서 'group'과 'id'는 SQL을 이용하기 위한 고유 인식자(primary key)이다. 'clock'이나 'count'가 포함된 인자는 주로 보관용으로 사용되며 입출력 접점 인자는 보관과 함께 안전 검사할 때 사용된다.

### 3.3 기계 가동중의 NC 프로그램 진행 상황 검사

공구의 정상 가동 여부는 세 가지 센서의 신호를 인자로 사용할 수 있다. 첫 번째로 M 코드에 의해 장비에서 출력되는 스피들의 on신호와 rpm 값인데 이 값은 스피들의 종류에 따라 전압으로 신호를 확인하는 경우도 있다. 이 경우에는 공구의 회손 여부가 파악되지 않기 때문에 부가적으로 소음 감지 센서를 사용할 수 있다. 가공이 이루어지는 일정한 범위의 소음이 발생하는 경우 신호를 on으로 판단한다. 가공이 이루어지지 않는 급속 이송(G00)과 가공 경로(G01,G02,G03 등)인 경우가 있기 때문에 미리 NC 데이터를 스캔하여 최대 급속 이송 거리 및 실제 가공 경로 길이와 이송비(feedrate)에 의한 최대 급속 이송 및 가공 유지 시간을 미리 산출해야 한다. 실제로는 접근과 빠짐에 대한 거리와 가공물 접촉 없는 가공 경로가 많이 있기 때문에 이를 감안하여 충분한 허용오차 범위에서 판단하도록 해야 한다. 한 작업자가 넓은 지역에서 장비를 운용하거나 무인 가공을 하는 경우에 정상 가동 중인지를 판단할 수 있어 매우 유용하다. 최근에는 공구와 공작물에 미세한 전류를 흘려 보

표 2. An Example of The Hazard or Risk Factors (Milling/Plasma Cutting Machine)

No	형식	변수명	값의 예	No	형식	변수명	값의 예
1	INTEGER	Group	1,2,3... (BAY1, BAY2,...)	11	INTEGER	Alarm	0,1 (Off, On)
2	INTEGER	ld	1,2,3... (MILL1, MILL2,...)	12	INTEGER	e_stop	0,1 (Off, On)
3	INTEGER	spindle_cwccw	0.1,2,3, (Off, On, CW, CCW)	13	INTEGER	over_travel	0,1 (Off, On)
4	INTEGER	spindle_rpm	Number	14	INTEGER	door_sw1	0,1 (Off, On)
5	INTEGER	feed_hold	0.1 (Off, On)	15	INTEGER	door_sw2	0,1 (Off, On)
6	INTEGER	cycle_start	0.1 (Off, On)	16	INTEGER	cooleant	0,1 (empty/ok)
7	INTEGER	cycle_stop	0.1 (Off, On)	17	INTEGER	Sound_volume	0,1 (Low, High)
8	INTEGER	override	Number	18	INTEGER	temperature	0,1 (Low, High)
9	INTEGER	Single_block	0.1 (Off, On)	19	INTEGER	conveyer1	0,1,2 (Stop/Forward,Backward)
10	INTEGER	dry_run	0.1 (Off, On)	20	INTEGER	conveyer1	0,1,2 (Stop/Forward,Backward)

내 공구와 공작물의 접촉 여부로 실제 가공중임을 판단해 주는 NC 장비가 있는데 이러한 신호를 이용할 수도 있다.

al., 1990). 즉, ‘IF (입력 신호 인자의 조건변수.비교연산자.조건값) THEN (출력 신호 인자의 조건변수(조건값)’ 형식의 문장들로 이루어진 규칙 베이스를 각 기계에 대하여 정의한다. 규칙의 문법은 <그림 4>처럼 자연어 방식의 스크립트(scripts)를 사용한다.

#### 4. 전문가 시스템을 응용한 조치

##### 4.1 규칙 베이스(rule base)의 정의

규칙 베이스는 규칙을 담고 있는 데이터베이스로 구성한다. 각 센서와 장비의 컨트롤러 및 스위치에서 입력되는 요소에 의한 위험 상황을 전문가 시스템에서 사용하는 기법을 사용하여 인지하고 조치 사항을 결정하는 방법을 사용한다(Revine et.

<그림4>에서 ‘IfVar와 ‘ThenVar’는 3장에서 언급한 상태 인자의 변수이며 <표 3>의 (a)와 같은 내용을 가지고, <그림 4>의 ‘IfCnd’와 ‘ThenCnd’는 3장에서 언급한 기계의 상태 인자 값으로 <표 3>의 (b)와 같은 내용을 가지게 된다. 이 내용들은 C++ 언어로 구현할 때 <그림 5>의 (a)와 같은 형식의 클래스(class)로 정의하여 처리할 수 있다.

규칙을 정의하는 스크립트의 한 문장은 <그림 5>의 (b)와

표 3. An example of the values of variables

(a)		(b)	
Rulebase 조건변수(Var)		Rulebase 조건값(Cnd)	
Variable	Value(Word)	Variable	Value(Word)
Var.Word [0]	‘cycle_start’	Cnd.Word [0]	‘OFF’
Var.Word [1]	‘door_sw1’	Cnd.Word [1]	‘EMPTY’
Var.Word [2]	‘cooleant’	Cnd.Word [2]	‘OPEN’
...	...	...	...

```

Syntax:
    IF IfVar[a] = IfCnd[a] [ ( AND | OR ) IfVar[b] = IfCnd[b] ] THEN ThenVar=ThenCnd
Ex:
    IF door_sw1=On AND door_sw2=On THEN alarm=On
    
```

그림 4. An example of a rule-sentence.

```

typedef struct { // 구조체 형식
    int No;
    int Size;
    char Word [MaxWord][LenWord];
} sDic;

sDic Var, Cnd; // 변수
    
```

(a)

```

typedef struct {
    int IfVar[MaxCase];,ifVarOp [MaxCase];
    int ifCnd[MaxCase],ifCndOp [MaxCase-1];
    int ThenVar,,ThenCnd;
} sSentence;

sSentence rule[MaxRule];
    
```

(b)

```

class cRuleBase {
public:
    int No, Size, CaseNo;
    sSentence Rule [MaxRule];
    void Clear (void);
    int RuleAppend( void );
    void SetIf( int VarNo, int CndNo );
    void SetThen( int VarNo, int CndNo );
    void Show ( void);
};

cRuleBase RULEBASE;
    
```

(c)

```

class cResult {
public:
    int No,Cnd [MaxVar], Ins[MaxVar];
    int nEvent;
    sSentence Event;
    void Clear (void);
    void Update( int VarNo, int CndNo);
    void UserUpdate( int VarNo, int CndNo);
    void Show (void);
};

cResult RESULT;
    
```

(d)

그림 5. Data structure for containing variables, conditions and rule-sentences.

같이 'sSentence' 형식의 클래스에 보관되는데 스크립트의 문장들은 'rule'이란 배열변수에 보관되고 사용된 변수 이름 등이 클래스에 함께 보관된다. 'sSentence'라는 구조체 내의 각 멤버 변수가 배열인 것은 규칙 스크립트의 'IF'절에서 조건의 참 또는 거짓을 판단할 때 'AND'나 'OR' 등의 논리연산을 처리하기 위함이다.

규칙 베이스는 특성이 다른 장비별로 하나씩 만들어져야 한다. 규칙 베이스 스크립트 전체를 보관하는 클래스를 <그림 5>의 (c)에서 보이고 있다. <그림 5>의 (d)는 규칙 베이스에 의해 변화된 각 상태변수의 상태값을 보관하는 클래스이다. 각 클래스는 규칙 베이스를 탐색하며 입력 상태에 따라 출력 상태를 결정하는 추론 프로시저의 구현이 쉽도록 구성된 것이다.

조건의 값은 NC 장비의 각 스위치와 센서 그리고 PLC 접점 등과 on-line으로 연결하고 이러한 규칙 베이스를 처리하는 SW 모듈이 NC 장비에 부착된 산업용 PC 또는 모니터링 전용 CPU 장치에서 백그라운드로 실행되도록 해야 한다.

#### 4.2 규칙 베이스의 해석과 결과 산출

안전에 민감한 신호가 감지되면 해당하는 신호변수와 신호 값을 가지고 <그림 6>과 같은 프로시저로 감지된 센서에 의

해 변경된 조건변수와 조건값 들을 얻을 수 있다. 이 프로시저는 전문가 시스템 중에서 규칙 베이스를 포워드 체이닝 방식으로 탐색하며 여러가지 조건에 부합하는 추론을 이끌어 내는 로직(Revine *et al*, 1990)을 의사 코드로 보인 것이다. 'RESULT' 구문으로 세팅되는 조건변수와 조건값은 출력 인자인데 조건 변수는 Actuator나 경광등 등을 구동하는 Relay 또는 PLC의 접점이 되고 조건값은 on/off 값을 가진다. 스크립트로 작성된 규칙들을 내부적으로 보관하기 위해 C++로 프로시저를 구현하고 구문해석기(parser)를 만들어 사용하였다.

### 5. 시스템 구현

실제 공장에서 각 NC 기계의 입력 상태 신호에 의한 경보나 비상 정지 등은 충분한 테스트를 거친 규칙을 적용하여야 한다. 본 연구에서는 규칙 베이스의 작동을 각 인자값과 조치 결과 인자값의 이력 파일(LOG FILE)로 확인하였다.

규칙을 정의하는 스크립트의 입력은 안전 관리자가 필요한 변수를 이용하여 텍스트 에디터를 이용하여 작성할 수 있다. 모니터링 시스템은 초기 동작할 때 규칙 베이스 파일을 읽어 문법 체크를 하고 해석한 후 내부 형식에 맞게 변환하여 보관

```

V= 감지 신호변수
C= 감지 신호값
RESULT.Update(V↓, C↓ )
QUEUE.Add(V↓ );
WHILE (QUEUE.Size ≠ 0) DO { // ㄱ. Checking Queue Empty
    QUEUE.PickOne( QV↑ ); // ㄴ. 큐에서 변수를 하나 꺼내어
    FOR (i= 1~RULEBASE.Size) DO { // ㄷ. 모든 rule을 비교
        IF RuleBase.var = QUEUE.QV DO { // invoke!!!
            V= RULEBASE.Rule[i].IfVar[];
            C= RULEBASE.Rule[i].IfCnd[];
            IF RESULT.Ins[M] is unknown DO {
                Find_Value_from_LOG(V↓ , C↑ )
                RESULT.UserUpdate( V↓, C↓ )
                QUEUE.Add( V↓ )
            }
            V= RULEBASE.Rule[i].IfVar[]
            C= RULEBASE.Rule[i].IfCnd[]
            IF C=RESULT.Cnd[M] DO {
                V= RULEBASE.Rule[i].ThenVar
                C= RULEBASE.Rule[i].ThenCnd
                RESULT.Update(V↓, C↓ )
                QUEUE.Add(V↓ )
            }
        }
    } // until Loop Scan all Rule
} // until Queue empty
    
```

그림 6. Pseudo code of forward chaining procedure.

한다. <그림 6>과 같은 포워드 체이닝 프로시저와 주어진 규칙 베이스에 의해 입력 상태와 출력 상태 값의 예를 <그림 7>에서 보인다.

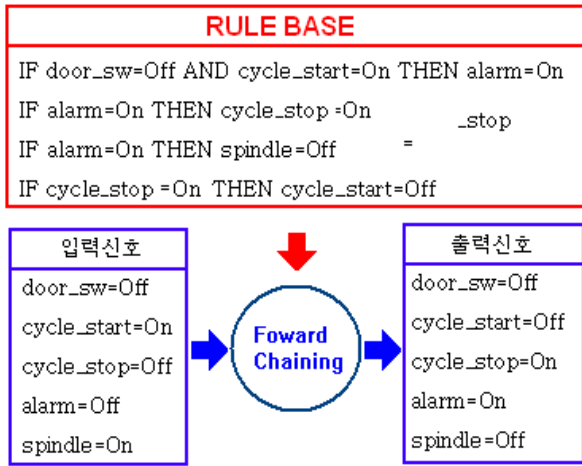


그림 7. Examples of rule-base and forward-chaining-process.

구현된 시스템의 출력 예를 <그림 8>에서 보이고 있다. <그림 8>의 (a)는 점점 신호에 의한 여러 NC 장비의 상태에 따라 변화하는 점점의 변화를 보인 것이며, 각 장비별로 이러한

점점 상태의 변화에 대한 로그 정보를 <그림 8>의 (b)에서 보이고 있다. <그림 8> (c)는 여러 기계의 각 상태를 색깔로 구분하여 일정 기간 동안을 막대 그래프로 보인 것인데, 간트 차트 형식과 유사하여 일주일, 한 달, 일년 등의 기간별로 장비의 상태 변화를 한눈에 볼 수 있다. <그림 8>의 (d)는 장비에 대해 등록된 작업자별로 장비의 생산 실적과 유휴 시간이나 작업 시간 등을 리스트 형식으로 보인 것이다.

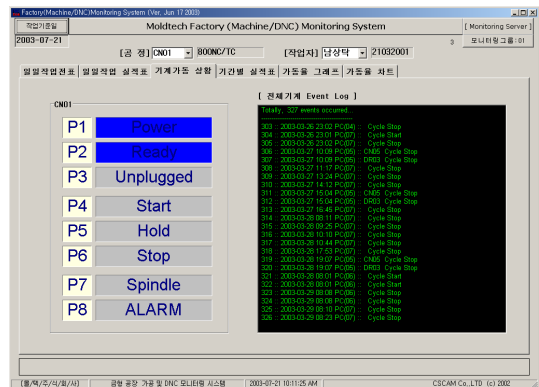
### 6. 결론

본 논문에서는 제조업체에서 사용하는 NC 기계의 상태를 모니터링하고 각 상태에 따라 위험 상황을 판단해 주는 안전 검사 시스템의 원형을 제안하였다. 기계 상태의 모니터링은 스위치와 액추에이터에 직접 연결된 점점 신호와 DNC 프로토콜로 얻은 값을 모두 이용하였고, 일정 시간 간격으로 모니터링된 상태 데이터를 취합하여 보관하도록 구현하였다.

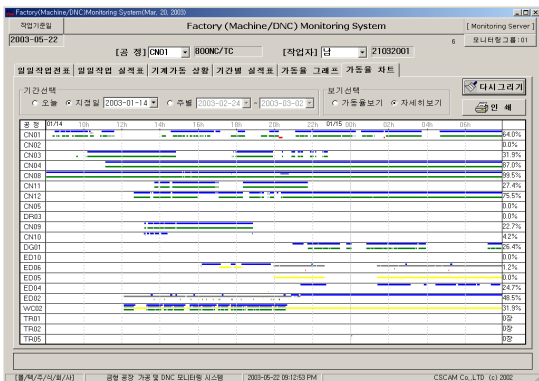
특히 상태에 따라 안전 검사 결과를 전문가 시스템 기법으로 추론하는 방식을 시도하였다. 컴퓨터로 취합된 상태와 적절한 조치 내역은 인트라넷 기반의 전용 뷰어(viewer)나 웹(web) 기반의 브라우저에서 확인이 가능하다. 국내 인터넷 인프라가 잘 되어 있고 네트워크 구축 비용이 낮아지는 상황을 고려할



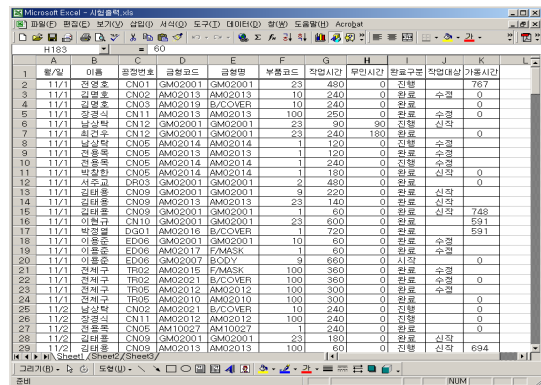
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. Examples of screen-capture of monitoring data.



때, 제안된 시스템을 응용한 설비의 보전 및 안전 데이터 관리 시스템의 구축 환경은 더욱 용이해 질 것이다. 제안된 기계 상태에 대한 모니터링 방식은 가전 금형 공장과 조선 절단 공장에 적용되었다.

제안된 시스템에서 사용되는 안전 검사의 규칙은 현재 현장 작업자의 노하우에 의존하므로 지식 베이스 구축에 대한 연구와 이러한 안전 검사 전용 시스템을 NC 장비에 기본으로 하는 방안에 대한 연구가 향후 이루어져야 한다.

### 참고문헌

권명일, 최기범, 김성식(1995), 반도체 조립 작업장의 실시간 작업 관리 시스템, 산업공학, 8(4), 5-20.  
 김병석, 나승훈, 강경식(1996), 퍼지기반 SONN 알고리즘을 이용한 호이스트 안전 진단 시스템 설계에 관한 연구, 한국 산업 안전 학회지, 12(1).

김양호(2003), 산업안전보건경영시스템구축12단계의 실제, 안전보건, 1-4.  
 이승우, 김선호(1995), Machine Cell Controller 개발, 산업공학, 8(4), 121-128.  
 이철수(1992), NC프로그램과 커스텀매크로, 한국산업정보센터.  
 정방환, 오제환, 김남하, 정대영(1995), 전자부품산업에서의 실시간 공정 및 설비 모니터링 시스템 개발, 산업공학, 8(4), 61-72.  
 정병용(1997), 우리나라 산업재해의 발생 원인 및 특성에 관한 연구, 산업공학, 10(2), 99-108.  
 정화식, 최진섭(1996), 작업부하관리를 위한 database와 전문가 시스템의 상호작용 시스템 개발, 산업공학, 9(3), 257-268.  
 최목돈(1999), TPM기법에 의한 설비안전에 관한 연구, 계명대학교산업기술대학원 박사학위논문.  
 한국산업안전공단(2003), <http://www.kosha.or.kr>, 2001년 산업재해 원인 조사 보고서.  
 Revine, Robert I., Drang, D. E., Edelson, B. (1990), AI AND EXPERT SYSTEMS, McGraw-Hill, Inc.  
 Rokwell(2003), [www.rockwell.com](http://www.rockwell.com), Rokwell Ltd. Co.  
 SENA(2003), [http://www.sena.com/korean/product/p\\_ja.shtml](http://www.sena.com/korean/product/p_ja.shtml), SENA technology.



#### 박 광 렬

전남대학교 산업공학과 학사  
 전남대학교 산업공학과 석사  
 전남대학교 산업공학과 박사  
 현재: 씨에스캠(주) 기술연구소  
 관심분야: CAD/CAM, 설계 및 생산자동화



#### 이 철 수

한양대학교 산업공학과 학사  
 한국과학기술원 산업공학과 석사  
 한국과학기술원 산업공학과 박사  
 현재: 전남대학교 산업공학과 부교수  
 관심분야: CAD/CAM과 CNC 컨트롤러