

# 플라스틱 사출성형의 진단과 불량대책을 위한 지식기반 전문가시스템

최진성\* · 서태설\*\* · 한순홍\*\*\*

## A Knowledge-Based Plastics Injection Molding Expert System for Diagnosis and Troubleshooting

Jin-Sung Choi\*, Tae-Sul Seo\*\*, Soon-Hung Han\*\*\*

### 요 약

사출 성형의 초보자도 이용할 수 있으며 사출 성형기의 이력 관리를 할 수 있는, 플라스틱 사출 성형의 진단과 불량대책을 위한 지식 기반 전문가 시스템을 ART-IM이라는 범용 전문가시스템 셸을 이용하여 구현하였다. 지식베이스(knowledge base)는 수치 회사와 관련 서적, 전문가의 경험을 토대로 구축하였으며, 구현된 시스템은 크게 사출 공정 조건 설정 시스템, 사출기 ID에 따른 이력 관리 시스템, 사출성형 불량 진단 시스템의 세 부분으로 나누어 구성하였다. 본 연구를 통해 제안된 방법에 따라 업체별 사출기 성능에서 오는 공정 조건값의 차이를 사출 공정 조건값의 저장에 의해 고려할 수 있으며, 불량 해결에 대한 전문가시스템의 추론 순서 결정을 경험적 확률에 따라 이루어지도록 함으로써 현장에서의 작업 환경을 고려한 전문가시스템이 되도록 하였다.

KEY WORDS : 전문가시스템, 지식베이스, 플라스틱 사출성형, 불량 대책, 진단, 경험적 확률

## 1. 서 론

플라스틱 사출성형 기술은 TV, 오디오 등의 가전 제품, 컴퓨터, 생활 용품의 외관과 품질을 결정 짓는

매우 중요한 생산 기술로 인식되고 있다. 그러나 사출 성형 과정은 그리 단순하지 않아 이론적인 설계나 시뮬레이션을 거쳤더라도 실제 사출 성형 과정에서 여러 가지 불량 현상이 발생할 여지가 많다(Gadh, 1989). 따라서 현장 경험이 풍부한 기술자의 지식이

\* 대우전자

\*\* 산업기술정보원

\*\*\* 한국과학기술원 기계공학과

불량 현상을 제거하거나 감소시키는 데 필수적인 것으로 지적되고 있다(Jan 등, 1991).

사출 불량에 발생하는 구조적인 문제점을 살펴보면, 첫째로 제품의 구조 형상이 복잡하다는 것을 들 수 있다. 사출 성형에 의한 제품의 형상은 주형상과 부형상으로 구분할 수 있는데 주형상은 제품의 형태를 이루는 균일한 두께의 얇은 솔리드(Solids)의 형태로 되어 있으며, 부형상은 구조 보강, 변형 방지, 조립, 환기 등의 목적으로 부가되는 것으로 보스(boss), 리브(rib), 슬릿 slit, 구멍 등의 형태를 취한다(허용정과 김상국, 1991).

둘째로 사출성형 제품의 제작을 위한 전체 공정에 관련되어 있는 관련 부서를 보면 설계 부서, 금형가공업체, 사출성형 업체가 있는데, 이들은 서로 분리되어 있는 경우가 많아서 상호간의 의사 소통이 원만치 않을 경우 제품 개발 일정에 차질을 빚게 되거나 품질 저하가 초래되기 쉽다.

셋째로 현장 경험이 풍부한 전문 인력이 이직, 출타 등 여러가지 이유로 자리를 비우는 경우, 생산에 차질을 빚게되므로 이에 대한 대책을 마련해야 한다. 따라서 이러한 문제를 대비하기 위해서는 지식기반 전문가시스템이 요청되고 있다.

관련 연구를 살펴보면, 김태수 등(1992)은 형상 모델링 기능을 이용하여 보스, 리브, 슬릿 등의 부형상을 설계 합성하는 지식형 CAD 시스템을 개발하였고, Pratt 등(1993)은 지능형 CAD를 접목하여 기하학적 모델링 능력을 갖게 하는 지식기반 공학 시스템(knowledge-based engineering system)을 개발하였다. 김상국 등(1987)은 유동 해석 및 분자 배향 해석 프로그램을 범용 전문가 시스템과 링크시켜 지능형 CAD 시스템을 개발하였다. Jan 등(1991)은 이용자와의 대화를 통해 불량 현상을 단계적으로 해결해 나가는 전문가 시스템을 구축하였고, 윤종수 등(1994)은 전향 및 후향 추론 방식을 채택하여 사출성형 불량 해결 전문가시스템을 개발하였다.

이제까지 사출성형에 관련된 연구의 대부분이 사출금형의 설계나 가공, 공정계획 쪽으로 편중되어 이루어졌으며, 사출 공정 조건의 연구에 있어서도 특정 인자만을 대상으로 한 경우가 대부분이다. 또한 생산 현장의 구조적인 문제점이나 특정 사출 성형기의 이력을 고려한 연구가 거의 없다.

본 논문에서는 사출 초보자도 이용할 수 있으며 사출 성형기의 이력 관리를 할 수 있는 플라스틱 사출성형의 진단과 불량 대책을 위한 지식기반 전문가시스템을 구축하였다. 범용 전문가시스템 셸(expert system shell)인 ART-IM을 사용하였으며, 수치 회사와 관련 서적, 전문가의 경험을 토대로 지식 베이스(knowledge-base)를 구축하였다.

## 2. 사출성형

사출성형이란 분자량 10000 이상의 합성 수지, 합성 고무, 합성 섬유 등과 같은 고분자 화합물 중 플라스틱이라는 합성 수지(이국웅과 문홍국, 1994)의 성형성 즉, 가열하면 용융하고 냉각하면 경화하는 성질을 이용하여, 미리 제작된 금형의 형상 대로 성형하는 일련의 과정이다. 좀더 구체적으로 보면 그림 1과 같이 사출 제품의 원료인 수지가 펠릿(pellet) 형태로 사출 성형기의 호퍼에 공급되면, 적정량으로 계량하여 사출 성형기의 실린더에 보내어져 가열되고, 가열된 수지는 적정 압력으로 금형 안에 사출된다. 다음으로 완전 충전 및 금형에서의 수지 역류 방지를 위한 보압 과정을 거친 후, 냉각하여 고화된 성형품을 금형으로부터 취출한다.

사출성형의 품질에 영향을 미치는 구성 요소는 그림 2와 같이 금형, 사출 성형기, 플라스틱 수지, 사출 공정 조건 등의 4가지로 구분할 수 있다. 사출성형에서 제품의 품질을 결정하는 매우 중요한 요소 중의

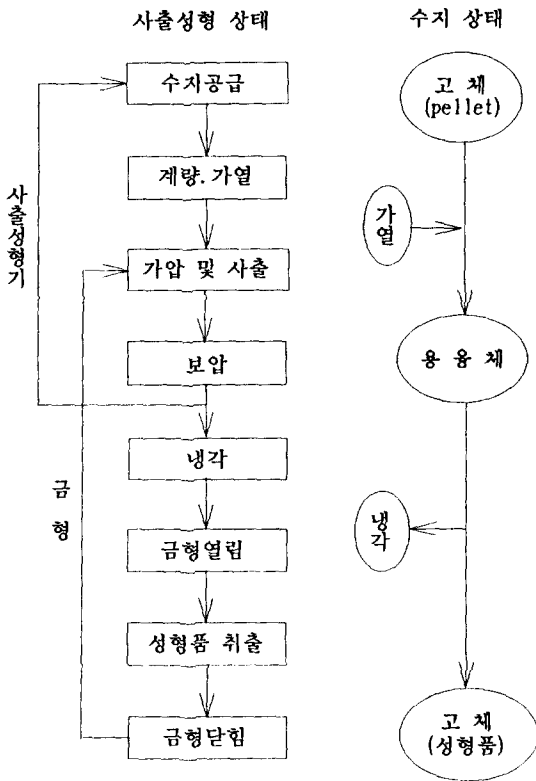


그림 1 사출 성형 공정의 개략도

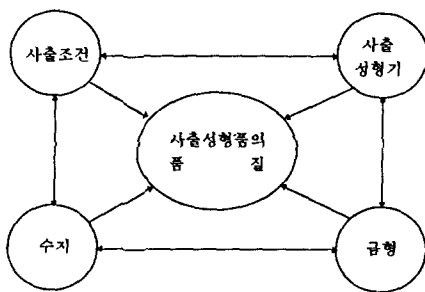


그림 2 품질에 영향을 미치는 구성 요소

하나인 금형에는 일반적으로 2단 금형과 3단 금형이 있는데, 본 논문에서는 사용 빈도가 가장 많은 받침판 없는 2단 금형을 대상으로 하였다.

사출성형이 실제로 수행되는 사출 성형기는 각

성형 주기마다 일정량의 재료를 계량하는 계량 기구, 재료를 용융시키는 가열 기구, 용융된 재료를 사출하기 위한 가압 기구, 금형 개폐 기구, 사출성형 주기를 제어하는 기구 등으로 구성된다. 사출 성형기의 종류로는 수지를 용융하는 방법에 따라 다음의 3종류가 있다.

- 1) 스크류형 (screw in line type)
- 2) 프리플라형 (preplular type)
- 3) 플린저형 (plunger type)

본 연구에서는 가장 많이 이용되고 있는 스크류형 사출 성형기를 중심으로 다루고자 한다. 또한 사출 성형의 원료인 플라스틱 수지에는 열경화성 수지와 열가소성 수지가 있으나, 본 연구에서는 열가소성 수지를 대상으로 지식베이스를 구축하였다. 마지막으로 사출성형 공정 중에 중요한 인자를 보면 온도, 압력, 시간 등의 형태로 나타나는데(임무생, 1988), 온도에는 사출 온도, 금형 온도, 실린더 온도, 노즐 온도 등이 있으며, 압력에는 사출 압력, 보압, 배압 등이 있고, 시간에는 사출 시간, 보압 시간, 냉각 시간 등이 중요한 인자이다.

사출성형에 있어서 제품의 품질을 좌우하는 중요한 인자는 수지, 사출 성형기, 사출 조건, 금형의 4가지로 구분된다. 그림 2는 이들 4가지 요인들의 관련성과 사출 성형에 미치는 영향을 개념적으로 나타내고

- |                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| 1. 형수축(sink mark)  | 2. 충전부족(short shot)  |
| 3. 웰드라인(weld line) | 4. 은줄(silver streak) |
| 5. 플래쉬(flash)      | 6. 파상흔적(flow mark)   |
| 7. 이형불량            | 8. 기포(void)          |
| 9. 젯팅(zetting)     | 10. 균열(crack)        |
| 11. 크레이징(crazing)  | 12. 백화               |
| 13. 성형품 변형         | 14. 색상 불량            |
| 15. 박리현상           | 16. 흑줄(black streak) |
| 17. 탄화(black spot) | 18. 광택 불량            |
| 19. deflection     |                      |

그림 3 사출 성형의 불량 현상들

있으며, 양질의 성형품을 얻기 위해서는 이들 4가지 요인들이 적절히 선정되고 조화를 이루어야 한다. 그렇지 못할 때는 그림 3과 같은 불량 현상들이 야기된다.

### 3. 전문가시스템의 구성

사출성형 불량 현상의 문제 영역은 다음의 3가지 시스템으로 구성하였고, 문제 해결에 대한 방법은 프레임형 지식과 규칙형 지식으로 지식베이스에 저장되었다.

- 1) 초보자의 사출 공정 조건 선택 과정을 지원하기 위한 사출 공정 조건 설정 시스템.
- 2) 사출기 성능 차이에서 오는 공정 조건의 차이를 보정하고 다음 사출에 데이터로 사용할 수 있게 하는 사출기 ID에 따른 이력 관리 시스템.
- 3) 사출 후 나타난 불량 현상을 진단하는 사출성형 불량진단 시스템.

전문가시스템은 IBM PC에서 운영되는 범용 전문가시스템 개발 도구인 미국 Inference사에서 개발한 ART-IM을 사용하였다. ART-IM에서 지식은 사실(fact)과 스키마(schema)로 구성된다. 특정 객체에 대한 사실들을 모아놓은 것을 스키마라고 하는데, 스키마 안에서 사실은 슬롯(slot)으로 표현된다. 프로그램이 실행되면서 기존의 사실 또는 스키마와 일치하는 상속성을 가진 룰(rule)이 실행되고, 새로운 사실과 스키마가 선언되며, 룰에서 지정한 순서로 프로그램이 실행된다. 또한 문자나 변수를 사용하여 사실과 스키마가 일치되는지 점검할 수 있는 기능이 가지고 있다. ART-IM은 절차 언어를 가지고 있어서 사용자 정의 함수의 호출에 사용될 수 있으며, 함수는 입출력 기능, 수학 함수의 사용, 객체를 점검하고 조작하는 기능을 가지고 있다 (Inference Corp., 1989).

### 4. 지식 베이스의 구축

사출성형 불량대책을 위한 지식은 수지 공급회사, 관련 서적, 현장 전문가로부터 얻어진다. 표 1은 사출성형 불량 현상 중에서 '충전 부족'에 대한 불량 원인을 분류한 것으로서 사출성형 품질에 영향을 주는 모든 원인을 사출성형 구성 요소별로 나누고, 충전 부족에 해당하는 원인들을 선택하거나 추가하게 함으로써, 해당 불량 현상에 영향을 주는 가능한 모든 원인을 나타낼 수 있게 하였으며, 원인별 해결 가능성을 확률로 표기하였다.

그러나 한가지 불량 현상에 대한 가능한 원인의 수가 너무나 많기 때문에 이것을 그대로 적용하는 것은 비효율적이다. 그래서 이것을 표 2와 같이 불량 현상이 발생된 성형품의 '불량 동반 현상'과 '불량 발생 위치'로 구분하여 그룹화 함으로써, 불량 발생 원인의 검토 대상 수를 대폭 줄일 수 있게 하였다. 그 다음 단계에서는 현장 경험자의 지식을 반영하여 세부 원인을 구분한 후, 대책 소요 시간별로 먼저 분류하고 난 후에 가능 확률 순으로 추론이 이루어지도록 지식을 구성하였다.

동적인 지식인 규칙은 상황에 따라 이용자가 입력하는 부분과 이용자에게 추론을 위해 질문을 하는 부분으로 구성된다. 함수 생성 부분은 사출 성형기의 용량 결정, 가소화 능력의 결정, 게이트 밸런스 계산 등과 같은 수학적 계산을 추론에 넘겨 주기 위한 것이다. 정적인 지식인 프레임 생성 부분은 수지의 사출성형 조건이나 사용 조건 및 런너나 게이트의 설계에 필요한 정보를 저장하는 데 사용된다. 이때 사용되는 수지의 등급(grade) 별로 사출성형 공정 조건이 모두 다르기 때문에, 수지 회사별, 각 회사의 수지 종류별, 각 수지 종류의 등급 별로 사출성형 공정 조건에 필요한 데이터를 수지 회사로부터 수집하여 스키마 형태로 저장하였다. 사출성형 공정 조건에

불량 현상	구성 요소	불량원인	판단근거	불량대책	가능 확률
총 전 부 족	1 사 출 조 건	-실린더 온도 부족	front : 190~200 mid : 180~190 rear : 170~180	실린더 온도 높게	0.8
		-사출 온도 부족	180~230	사출 온도 높게	0.8
		-금형 온도 부족	40~65	금형 온도 높게	0.7
		-사출 압력 부족	700~1300	사출 압력 높게	0.7
		-노즐 온도 부족	210~220	노즐 온도 높게	0.6
		-사출 시간 부족		사출 시간 빠르게	0.5
		-보압 시간 부족		보압 시간 빠르게	0.5
	2 수 지	-유동성 부족	Melt Index 6	VH-1800으로 교환	0.8
		-계량부족		계량증가	0.5
		-재생융혼합비율 높음	재생수지 사용률 20% 이내	재생수지 사용률 20% 이내로	0.5
		-pellet 형상 부적	구상모양의 형상	구상형상과 크기(Round)(작은것)	0.3
		-pellet 고체 유동성 부적	호퍼에 표면 윤활제	호퍼에 표면 윤활제	0.2
3 성 형 기	가소화능력 부족	$T = 3600nW/1000t \ 0.8T_o > T$	가소화 능력이 큰것	0.8	
	사출용량 부족	$Q = \pi * EXPT(D2) * k/4 \ 0.8Q_o < Q$	사출용량이 큰것	0.8	
	최대사출압력 부족		사출압력이 큰것	0.7	
	가열시간 부족		가열시간 연장	0.6	
	스크루 회전수 부족		회전수 증가	0.5	
	배압부족		배압증가	0.5	
	호퍼의 수지 브리지		호퍼부의 실린더 온도 낮게	0.4	
4 형	실린더 마모		실린더 교환	0.3	
	실린더 노즐 형상부족		노즐 홀을 크게	0.2	
	스포루우 크기 부족		스포루우를 크게	0.8	
	런너크기 부족		런너지름을 크게	0.8	
	게이트 크기부족		게이트를 크게	0.8	
	두께가 얇다		두께를 크게	0.5	
	유도거리가 너무 멀다		다점 게이트 사용	0.4	
	급격한 두께 변화		균일한 두께	0.4	
	런너형상 부적		원형 및 사다리꼴로 에어벤트 설치	0.4	
	금형의 공기저항		코너 R 처리	0.2	
	코너 R 부족	$B = Sg1/SQRT(Lr1) * Lg1$ $Sg2 = B * SQRT(Lr2) * Lg2$ (동일중량)	게이트 밸런스 조정	0.8	
게이트 밸런스	$Sg2 = Sg1 * W2/W1$ (중량차이)	보강리브 설치	0.6		
얇은 살두께					

표 1 불량원인 추출을 위한 분류

불량발생위치		게이트에서 먼곳 성형품 끝단 일부	게이트에서 먼곳 성형품 끝단 전체	두께가 얇은곳
수 축	성형품 전체	①	②	③
	BOSS 주위	④	⑤	⑥
웰 드 라인		⑦	⑧	⑨
F L A S H		⑩	⑪	⑫

표 2 불량특징에 따른 원인 분류

맞지 않는 수지를 사용하였을 경우, 공정 조건에 맞는 다른 등급의 수지를 선택할 수 있게 하기 위하여, 그림 4 처럼 상위 수지 종류 스키마와 하위 수지 등급의 스키마 관계를 상속시켰다.

```

-----
: : : SCHEMATA
(DEFSCHEMA maker1-HIPS
(cylinder-front-temp)
(cylinder-mid-temp)
(cylinder-rear-temp)
.
.
.
(pre-dry-temp)
(pre-dry-time)
(shrinkage-rate)
(flow-rate)

(DEFSCHEMA VH-1810
(IS-A maker1-HIPS)
(cylinder-front-temp 190~200)
(cylinder-mid-temp 180~190)
(cylinder-rear-temp 170~180)
.
.
.
(pre-dry-temp 75~80)
(pre-dry-time 2~3)
(shrinkage-rate 0.3~0.6)
(flow-rate 6)
-----
    
```

그림 4 프레임형 지식의 예

## 5. 구현된 사출 성형 전문가 시스템

### 5.1 사출 공정 조건 설정 시스템

사출 공정조건 설정 시스템은 사출금형, 사출 성형기, 플라스틱 수지 등에 대한 정보는 제공되었으나 경험이 부족하여 사출성형 공정 조건의 설정에 미숙한 초보자를 위한 시스템이다.

메인 메뉴의 해당 불량 현상을 선택했을 경우 시스템은 사용 수지의 등급 및 사출 공정 조건의 입력을 요구한다. 그림 5는 충전 부족 현상에 대한 수지 등급 VH-1810을 선택했을 경우의 구현 예로서, 만일 지

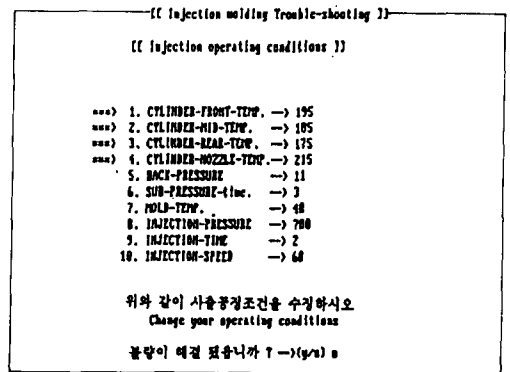


그림 5 사출공정값의 수정

식베이스에 저장된 사출공정 조건 범위를 벗어난 값이 입력되면 시스템은 공정 조건의 사용 범위 안으로 값을 자동적으로 수정해 준다. 그래도 불량이 해결되지 않을 경우는 대책 확률 중요도 순에 따라 점진적으로 공정 조건 설정값을 수정할 수 있도록 하였다.

### 5.2 사출기 ID에 따른 이력 관리 시스템

불량 진단 공정 모델은 그림 6과 같이 사출기 ID에 따른 사출 공정 조건의 이력 관리를 담당하는 초기 환경 추론 부분과 불량 원인에 대해 진단하는 불량 원인 추론 부분으로 구성된다. 관리 대상이 되는 사출기를 쉽게 확인할 수 있도록 사출기 ID는 사출 금형 업체명, 사출기 제작 업체명, 형체력의 크기 등을 나타내는 코드들로 구성하였다.

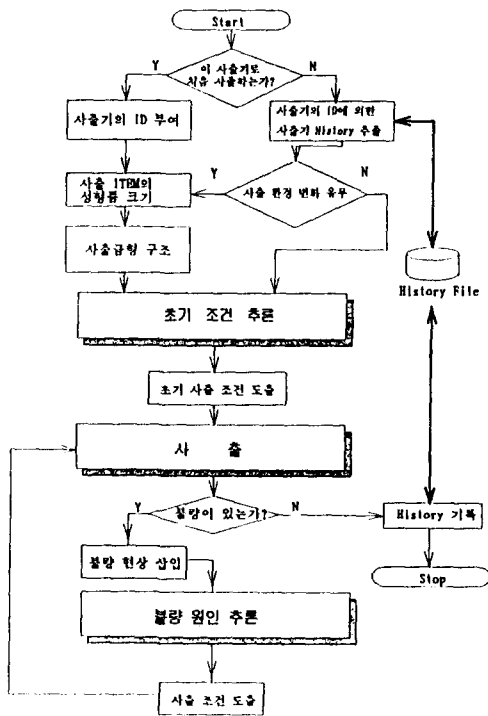


그림 6 이력 관리 및 불량진단

비교의 기준을 위한 공정 모델에서 “이 사출기로 처음 사출하는가?”라는 질문에 대한 이력 파일(history file) 응답에 대한 기준 즉, 사출 환경에 대한 변화 유무로서 해당 사출기에서 사출되는 성형품의 구별을 위해서 다음과 같은 두 가지 기준을 사용하였다.

- 1) 사출 품목(item)의 성형품 크기
- 2) 보스의 수와 보스의 최대 높이

사출기 이력 관리의 구현 과정을 그림6에 따라서 설명하면 다음과 같다.

먼저, 제품 크기가 다르거나 금형 구조가 바뀌는 등의 사출 환경의 변화가 있는 경우 변화된 환경값(사출기 ID, 성형품 크기, 보스의 수, 보스의 최대 높이)을 저장하고, 사출 결과와 사출 조건(사출 압력, 사출 온도, 사출 시간, 보압 시간)을 이력 파일에 저장한다. 한편 사출 환경의 변화가 없는 경우는 환경값의 입력후 기존 이력 파일이 열려 저장된 내용을 사출 조건값으로 이용하게 된다. 이때 불량 현상이 발생하면 불량 원인 추론에 의해 수정된 사출 공정 조건값으로 바꾸어 저장한다. 이와 함께 설명 기능(explanation facility)을 위하여 불량 발생 원인 및 그 대책에 대하여 저장한다.

### 5.3 불량 원인 진단 시스템

사출 후 실제 나타난 불량 현상에 대해서 그 원인을 찾을 수 있도록 전향 추론(forward chaining)과 후향 추론(backward chaining)을 병행하여 사용하였다.

전향 추론은 간단한 질문을 통하여 사용자로부터 입력된 정보를 바탕으로, 표 2를 이용하여 추론함으로써 불량 현상에 대한 원인의 수를 크게 줄일 수 있다. 전향 추론에 의해 얻어진 불량 원인들은 2차 세부 원인들의 증명을 통해 사실의 진위 여부를 규명한다. 이 때 breadth-first search와 depth-first search의 두 가지 탐색 기법을 적용하여 추론의 우선

순위를 결정하였다.

breadth-first search에 의해서 일차적으로 작업 시간을 고려하고, 이차적으로 사출 전문가가 판단하는 대책 가능 확률이 높은 순서로 추론 방향이 정해진 불량 원인을 찾는다. ART-IM에서는 추론의 우선 순위를 결정하기 위하여 Saliency 함수를 제공하는데, 이는 룰(rule)이 실행될 때 우선 순위를 부여하기 위하여 룰의 조건절에서 사용된다.

depth-first search에서는 breadth-first search에 의해 결정된 이차 세부원인에 대한 판단 근거나 불량 해결을 위한 대책 방법을 추론 엔진으로 제공해 준다. depth-first search에 의해 불량 원인을 찾지 못했을 때는 다시 backtracking에 의해 불량 현상이 해결될 때까지 breadth-first search와 depth-first search를 되풀이 한다.

추론 과정에서 시스템 질문에 대한 사용자 답변을 Yes/No/What으로 구분함으로써, 사용자가 답변하기 곤란한 항목은 가능한 사실로 받아들여 불량 원인으로 포함시켜 추론에 실패하지 않도록 구현되었다.

### 5.4 사출 불량 진단 시스템의 적용예

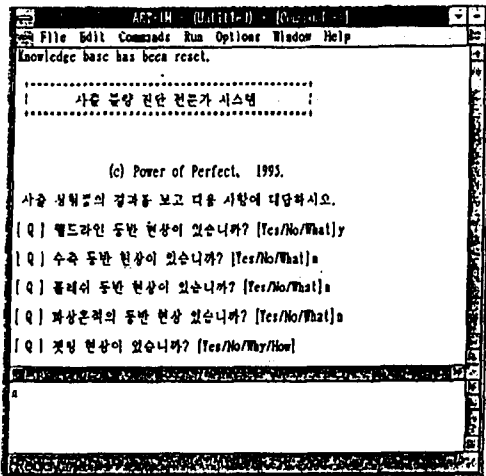


그림 7 전향 추론을 위한 질문

불량 진단 시스템의 적용예로서 다음과 같은 문제 상황을 설정하였으며, 그림 7과 그림 8은 그 진단 과정의 일부를 보여주고 있다.

- 1) 사용 수치 : VH-1810
- 2) 불량 현상 : 충전 부족
- 3) 불량 발생 위치 : 게이트에서 먼곳의 성형품 끝단
- 4) 불량 동반 현상 : 웰드 라인
- 5) 사출 전문가에 의한 불량 해결 : Airvent 설치

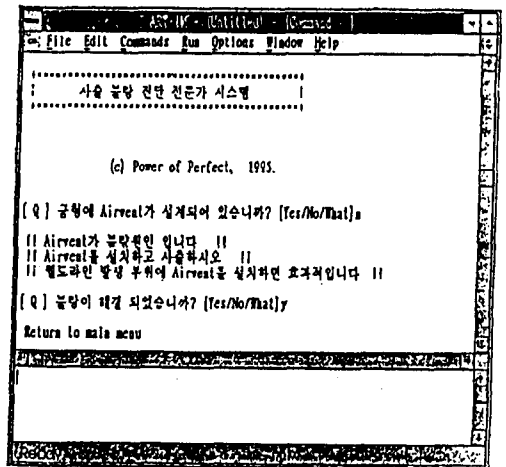


그림 8 진단 결과

## 6. 맺음 말

플라스틱 사출 성형 진단 및 불량 해결을 위한 지식 기반 전문가 시스템을 ART-IM이라는 전문가 시스템 셸을 이용하여 구현하였다. 전체 시스템은 크게 사출 공정 조건 설정 시스템, 사출기 ID에 따른 이력 관리 시스템, 사출 성형 불량 진단 시스템 등의 세 부분으로 나누어 구현되었다.

본 연구를 통해 제안된 방법에 따라 사출 공정 조건값을 저장하여 업체별 사출기 성능에서 오는



공정 조건값의 차이를 고려할 수있게 되었다. 또한 불량 해결에 대한 전문가시스템의 추론 순서 결정을 경험적 확률에 따라 이루어지도록 함으로써 현장에서의 작업 환경을 고려한 전문가 시스템이 되도록 하였다.

### 참 고 문 헌

- ART-IM Function Library Reference, ART-IM/MS-DOS 2.0 BETA. Inference Corporation, 1990.
- Gadh, R., et al., "Knowledge Driven Manufacturability Analysis from Feature-based Representation", ASME WAM, San Francisco, (1989).
- Jan, T. C., K. T. O'Brien, "Architecture of an Expert System for Injection Molding Problems", Annual Technical Conference in Society of Plastic Engineers '91, (1991), 431~443.
- Kim, Sang-Gook, Nam P. Suh, "Knowledge Based Synthesis for Injection Molding", Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Vol.3, No.2, (1987), 181~186.
- Pratt, S. D., M. Sivakuma, S. Manoocheri, A Knowledge-based Engineering System for Design of Injection Molded Plastic Parts, DE-Vol. 65-1, Advance in Design Automation-Vol. 1, ASME, (1993), 287~295.
- 김태수, 지해성, 노형민, "금형 생산의 CAD/CAPP 연계를 위한 특징 형상 이용 CAD 시스템", '92 대한기계학회 춘계 학술대회논문집, (1992).
- 윤종수, 임종균, 양석환 최해광, 왕용민, "사출성형 불량해결 전문가시스템 개발", 삼성전자 기술총괄 CAD 센터 응용 S/W 팀, (1994).
- 이국용, 문홍국, 최신 플라스틱 기술, 성안당, 1994.
- 임무생, 플라스틱 사출가공과 금형, 홍익제, 1988.
- 허용정, 김상국, "사출성형 제품의 부형상 설계를 위한 지식형 CAD 시스템에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 15권, 6호, (1991), 1933~1947.