

반도체 생산 라인에서의 이탈 처리 추적 전문가 시스템의 지식베이스 구축

Construction of Knowledge Base for Fault Tracking Expert System in Semiconductor Production Line

김형종, 조대호, 이칠기, 김훈모, 노용한
(Hyung-Jong Kim, Tae-Ho Cho, Chil-Gee Lee, Hoon-Mo Kim, and Yong-Han Roh)

Abstract : Objective of the research is to put the vast and complex fault tracking knowledge of human experts in semiconductor production line into the knowledge base of computer system. We mined the fault tracking knowledge of domain experts(engineers of production line) for the construction of knowledge base of the expert system. Object oriented fact models which increase the extensibility and reusability have been built. The rules are designed to perform the fault diagnosis of the items in production device. We have exploited the evidence accumulation method to assign check priority in rules. The major contribution is in the overall design and implementation of the rule base and related facts of the expert system in object oriented paradigm for the application of the system in fault diagnosis in semiconductor production line.

Keywords : semiconductor production line, knowledge base, rule base, expert system, fault tracking, evidence accumulation

I. 서론

반도체 생산 라인은 다른 생산 라인 보다 비교적 복잡하게 구성되어 있다. DRAM의 경우 하나의 반도체 칩이 나오기까지 약 300여 단위 공정을 거쳐야 한다. 그런데, 전체 생산 공정을 자세히 살펴보면 특정 단위 공정들이 반복해서 수행되는 것을 볼 수 있다[16][17].

각각의 공정들은 상당한 정밀성을 요구하기 때문에 각각의 생산 공정 사이에 그 공정이 제대로 수행되었는지를 검사하는 계측 공정이 필요하다. 계측공정은 현재 생산 공정 가운데 있는 반도체 웨이퍼의 상태를 샘플 추출을 통해 측정한다. 만일 오류가 발생할 경우에는 현재의 생산 설비의 파라미터를 조절하거나 생산 자체를 중지시키는 일을 하게 된다. 현재, 이러한 과정이 공정 엔지니어들에 의해 이루어지고 있다. 이로 인해 다음과 같은 문제가 생길 수 있다. 먼저, 공정 엔지니어들의 정서적, 심리적인 불안 상태에 있는 경우 판단의 오류가 있을 수 있다. 또한, 베테랑 엔지니어와 신참 엔지니어 사이의 오류처리의 정확도 면에서 큰 차이가 존재하여 베테랑 엔지니어가 생산 라인에서 급작스럽게 사라질 경우 큰 문제가 발생한다.

특히 전 라인 대부분이 자동화되어 있고 생산 원료가 고가인 반도체 생산 라인의 경우 한번의 처리 실수로 인해서 수만 개의 웨이퍼가 버려지는 큰 손실을 가져올 수 있다.

이런 상황에서 반도체 생산 라인에 이탈 처리 추적 전문가 시스템(fault tracking expert system)의 설치를

제안하게 되었다. 전문가 시스템을 구현하는 방법은 여러 가지가 있다. 그중 가장 보편화되어 있는 것이 생산 규칙에 의한 전문가 시스템(production rule-based expert system)이고, 다음으로 학습에 의해서 지식을 축적 하는 신경망(neural network)이론을 적용한 전문가 시스템이다. 현재 전문가들의 이탈 처리 추적에 관한 단편적인 지식을 쌓을 수 있는 지식 베이스(knowledge base)를 구축하는 것이 목적이기 때문에 생산 규칙에 의한 전문가 시스템(production rule-based expert system) 구축을 제안하였다.

II. 전문가 시스템 이론

1. 전문가 시스템의 정의

전문가 시스템(expert system)을 정의하고자 할 때 여러 가지 관점이 있을 수 있다. 하지만, 전문가 시스템의 구축의 목적의 관점에서 정의하자면 "전문가 시스템은 특정 분야의 전문가의 지식을 컴퓨터 시스템에 옮겨 담아 그 분야에 대해서 지식이 적은 사람이나 제어 시스템(control system)으로 하여금 그 지식을 이용하여 의사 결정이나 문제 해결을 전문가와 같이 하게 하고자 만들어진 시스템이다."라고 할 수 있다.

2. 전문가 시스템의 구성 요소

전문가 시스템은 그림 1과 같은 구성 요소로 이루어진다.

1) 추론 기관(inference engine)

추론 기관은 전문가들의 지식이 담긴 지식 베이스(knowledge base)를 자신이 갖고 있는 추론 방법을 통해 추론하여 문제를 해결하거나 의사결정을 하는 전문가 시스템의 구성요소이다.

2) 지식 베이스(knowledge base)

지식 베이스(knowledge base)는 말 그대로 전문가의

접수일자 : 1998. 2. 2., 수정완료 : 1998. 9. 4.

조대호, 김형종, 이칠기, 노용한 : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부

김훈모 : 성균관대학교 기계공학부

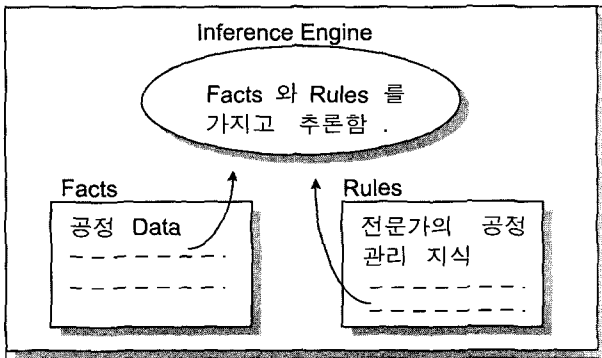


그림 1. 전문가 시스템의 구성.
Fig. 1. Component of expert system.

지식을 담고 있는 지식의 저장 장소이다. 이 지식 베이스(knowledge base)는 규칙(rule)과 사실(fact)로 구성되어 있다.

a) 규칙(rule)

규칙(rule)은 전문가의 지식을 특정 형식으로 표현한 것으로 규칙 전체가 참인지 거짓인지를 판단하는 근거가 되는 조건문(condition statement)과 만일 조건이 참일 경우에 수행되는 처리문(action statement)으로 구성되어 있다.

b) 사실(fact)

사실(fact)이란 지식 베이스(knowledge base)의 지식을 적용하고자 하는 현재의 상태이다. 이 사실(fact)은 시간에 따라서 변화할 수 있고 이 변화에 따라서 규칙(rule)의 적용 결과는 달라지게 된다.

전문가 시스템은 위와 같은 구성요소가 모듈화되어 독립적으로 관리되어 진다.

3. 전문가 시스템의 추론 방법

추론이란 현재 가지고 있는 지식 베이스(knowledge base)의 규칙(rule)과 사실(fact)을 가지고 새로운 사실(fact)을 추리하여 내는 것이다. 전문가 시스템의 추론 방법을 주관하는 모듈은 추론 엔진(inference engine)이다. 추론 엔진은 추론의 목적과 지식 베이스(knowledge base)의 구조에 따라서 추론 방법을 결정한다. 전문가 시스템의 추론 방법에는 다음과 같은 3가지 방법이 존재한다.

1) 전향 추론(forward chaining inference)

전향 추론(forward chaining inference)은 현재 가지고 있는 사실(fact)을 가지고 그것을 규칙(rule)에 적용하여 현재 가지고 있지 않은 새로운 사실(fact)을 모아 나가는 추론 방법이다. 여기서 새롭게 발견된 사실(fact)을 추론된 사실(inferred fact)라고 한다. 새로운 사실(fact)들을 모아 가는 도중에 목표 규칙(goal rule)을 참(true)으로 만드는 상태가 발견되면 그 상태에서 추론을 멈추고 그 목표 규칙(goal rule)의 추론 결과를 전체 추론의 결과로 받아들인다.

전향 추론에서 추론을 진행하던 중 주어진 조건을 만족하는 규칙이 두 개 이상 존재할 경우 실행(fire)할 규칙을 선택해야 한다. 이것을 conflict resolution이라고 한

다[2][4].

2) 후향 추론(backward chaining inference).

후향 추론(backward chaining inference)은 참 또는 거짓인지를 알기 원하는 하나의 규칙(rule)을 목표(target)로 정하고 이를 지지하는 필요한 사실(fact)을 찾아가는 형태로 추론되는 추론 방법이다. 후향 추론(backward chaining inference)은 사용자가 검증하기 원하는 하나의 가설에 대한 검증의 형태로 진행되며 가설을 검증하는 과정에서 그 가설과 관련한 모든 규칙(rule)들을 평가한다.

3) 혼합 추론 방법(hybrid chaining inference)

전향 추론과 후향 추론 모두를 사용해서 추론하는 경우를 혼합 추론이라고 한다.

4. 전문가 시스템에서의 확신 지수(certainty factor) 계산법

전문가 시스템은 주어진 모든 자료를 기호화(symbolize)해서 표현한다. 그러나 우리가 일상 생활에서 사용하는 모든 상황을 기호화한다면 아마 무한히 많은 기호들을 다루어야 할 것이다. 기호화한다는 것은 실제 상황을 단순화, 대표화 한다는 장점이 있는 반면에 그 속의 구체적인 모습까지 표현하는 데에는 많은 장애를 갖는다. 이런 장애를 극복하기 위해서 추론된 사실(inferred fact)에 확신 지수(certainty factor)를 부여한다. 확신 지수(certainty factor) 계산 식을 다음 각각의 경우에 대해 만들 수 있다.

첫째, 하나의 규칙 안에 여러 개의 조건들이 각각 확신 지수(certainty factor)를 갖는 경우로 각각의 조건들이 논리곱(AND)으로 연결되어 있는 경우이다. 이런 경우 각각의 신뢰 지수의 값의 최소값을 택하는 방법을 채택한다[1][4][15][22]. 또, 한가지의 방법은 두 개의 신뢰 지수를 곱하는 방법을 채택할 수 있다.

둘째, 하나의 가설을 뒷받침해 주는 여러 개의 규칙이 존재하며 여러 개의 규칙이 하나의 가설에 대해서 연결되어 있는 경우이다. 여러 규칙이 참으로 증명해 주는 특정 가설에 대한 확신 지수(certainty factor)는 다음과 같은 evidence accumulation 식으로 정의 할 수 있다.

$$CF_{total} = RuleA_{cf} + (1 - RuleA_{cf}) \times RuleB_{cf}$$

- CF_{total} : 전체 확신 지수
 - $RuleA_{cf}$: RuleA에서의 확신 지수
 - $RuleB_{cf}$: RuleB에서의 확신 지수
- (1)

위 식은 규칙 RuleA와 규칙 RuleB가 동시에 하나의 가설을 참으로 증명하는 경우의 식이다[1][5][19]. 이 식의 특징은 첫째, 절대로 1이상의 결과를 내지 않는다는 것과 둘째, 교환 법칙과 결합 법칙이 성립되어서 더해지는 값의 순서와 상관없이 같은 값이 나온다는 것이다.

세째는, 어떤 하나의 가설이 검증되고 그 가설이 다른 새로운 가설의 조건이 되어서 새 가설을 검증할 경우이다[1]. 이 것을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$HypoA_{chainedcf} = HypoA_{cf} \times (HypoB에 대한 HypoA의 기여도)$$

$$0 \leq HypoB에 대한 HypoA의 기여도 \leq 1$$

(2)

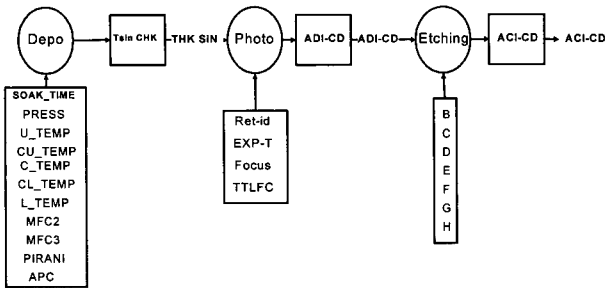


그림 5. 규칙 베이스(Rule Base)를 위한 공정 순서.
Fig 5. Process sequence for construction of rule base.

공정의 입력 파라미터와 ADI-CD값에 대해서도 마찬가지로 적용된다.

1) 규칙의 내용

규칙을 만들기 위해서 표 1의 기준정보 table을 반도체 생산 공정의 엔지니어로부터 얻었다. 표 1은 각각의 ACI-CD의 기준(spec)값과 또한 생산공정에서 각각의 입력 파라미터들의 기준(spec)값을 보여 주고 있다. 이 표를 보면 첫 번째 칼럼(column)에는 각 공정 이름이 표시되어 있고 두 번째 칼럼은 각 공정에 속한 항목(item)의 이름을 나타낸다. 여기서 MIN과 MAX값은 이탈의 기준이 되는 값이다. 특별히, photo 생산 공정의 파라미터들은 특정 절대치를 기준으로 하지 않고 바로 전에 그 장비를 지나간 LOT의 입력 파라미터와 값을 비교하여

표 1. 규칙 베이스(rule base)구축을 위한 기준 정보.

Table 1. Standard information for construction of rule base.

공정	Item	MAX	MIN	Target	중요도	가중치 환산 값	비고
DEPO	SOAK_TIME	13200.00	10800.00	12000.00	1	11/66	
	PRESS	43.89	35.91	39.90	2	10/66	
	U_TEMP	844.69	691.11	767.90	3	9/66	
	CU_TEMP	801.57	655.83	728.70	4	8/66	
	C_TEMP	801.57	655.83	728.70	5	7/66	
	CL_TEMP	801.46	655.74	728.60	6	6/66	
	L_TEMP	843.04	689.76	766.40	7	5/66	
	MFC2	0.04	0.03	0.035	8	4/66	
	MFC3	0.38	0.31	0.35	9	3/66	
	PIRANI	56.43	46.17	51.30	10	2/66	
APC	79.64	65.16	72.40	11	1/66		
Tsin CHK	THK	1677.50	1372.50	1525.00	1	7/18	
PHOTO	RET_ID				2	5/18	*
	EXP_TIME	+10	-10	0	3	3/18	*
	FOCUS	+0.2	-0.2	0	4	2/18	*
	TTLFC	+0.15	-0.15	0	5	1/18	*
ADI-CD	ADI-CD1	0.58	0.47	0.52	1	8/44	
	ADI-CD3	0.56	0.46	0.51	1	8/44	
ETCHING	B	1085.70	888.30	987.00	2	7/44	
	C	6.60	5.40	6.00	3	6/44	
	D	458.70	375.30	417.00	4	5/44	
	E	1075.80	880.20	987.00	5	4/44	
	F	16.50	13.50	15.00	6	3/44	
	G	272.80	223.20	248.00	7	2/44	
	H	9.90	8.10	9.00	8	1/44	
	ACI-CD	CD1	0.56	0.46	0.51		
	CD3	0.64	0.52	0.58			

* 이전 값 기준

서 그 값의 차를 가지고 이탈 기준의 MIN과 MAX를 정한다. 그렇기 때문에 target값이 0이 되는 것이다. 또한, RET_ID는 이전에 그 장비를 지나간 LOT의 RET_ID가 변경되었는가 아닌가 만을 검사하여 변경된 경우 다른 파라미터에서 이탈 기준을 벗어난 것과 같은 상황으로 인식하게 된다. target은 MAX와 MIN의 중앙 값이고, 중요도는 이탈 발생시 공정 엔지니어들이 점검하는 파라미터들의 중요한 정도를 수치로 표현한 것이다. 가중치 환산 값은 엔지니어들과 협의 하에 중요도를 규칙 베이스의 점검 우선 순위 결정 식에 반영하기 위해 환산한 값이다.

2) 규칙 베이스의 구조

이 규칙들은 그림 6과 같은 규칙 베이스 구조(rule base structure)를 갖는다. 그림 6에서 회색으로 표시된 부분은 각 규칙들이 연결된 계측공정에서 이탈 발생 시에 추론을 위해 올려지는 가설을 의미한다. 만일 ACI-CD값이 이탈이 발생하면 ACI-CD라는 가설이 올려지고 여기서부터 추론을 시작하는 것이다. 그림을 통해서 볼 때, Rule1부터 Rule9까지는 ACI-CD값이 결정되는데 직접적인 영향을 주는 파라미터들이고, Rule10부터 Rule25까지는 간접적으로 영향을 주는 파라미터들에 대한 규칙임을 알 수 있다.

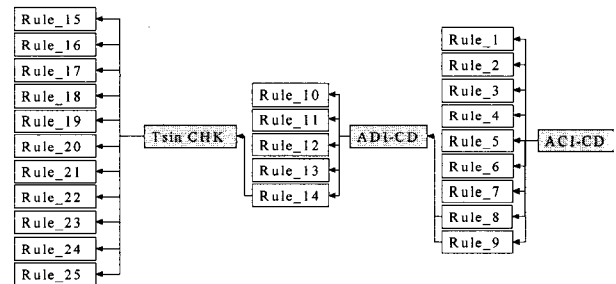


그림 6. 규칙 베이스(rule base) 구조.

Fig. 6. Structure of rule base.

3) 규칙의 구현

표 1에 근거하여 점검 우선 순위 결정 factor를 정하는데 다음 두 가지 사항을 고려해야 했다. 첫째는 공정 엔지니어가 지식으로 가지고 있는 점검 항목에 대한 중요도이고 두 번째는 위의 항목(item)들의 임계치(threshold)와의 편차이다. 점검 우선 순위 factor를 결정 공식은 다음과 같다.

$$\text{점검순서우선순위결정Factor} = \left(\frac{\text{target에서 벗어난 정도}}{|\text{target} - \text{min}|} \right) \times \text{가중치 환산 값} \quad (3)$$

위의 식은 먼저 항목들의 측정값의 편차를 구하고 그 값을 임계치의 범위로 나눔으로 정규화(normalize)하였다. 그리고, 그 값에 공정 엔지니어가 정해준 점검 우선 순위 중요도를 곱해서 점검 우선 순위 결정 factor에 반영하였다. 위 식을 통한 계산은 입력 파라미터 값이 임계치를 벗어났을 때에 이루어진다. 이는 규칙의 선택(trigger) 조건을 target에서 벗어난 정도를 |target-min|으로 나눔 값이 0.5이상 되는 경우로 두었다는 것과 같다. 점검 우

선순위 결정 factor를 가지고 현재의 이탈에 어느 정도의 영향을 미쳤는지를 결정하기 위해 evidence accumulation식을 사용하였다. 이를 통해 모아진 증거 전체에 대해서 각각의 파라미터들의 영향을 미친 정도를 계산한다. 그 계산식을 다음과 같다.

파라미터 a의 이탈 기여도 =

$$\frac{\text{점검우선순위 } Factor_a}{\text{점검우선순위 } Factor_a + (1 - \text{점검우선순위 } Factor_b) \times \text{점검우선순위 } Factor_c}$$

파라미터 b의 이탈 기여도 =

$$\frac{\text{점검우선순위 } Factor_b}{\text{점검우선순위 } Factor_b + (1 - \text{점검우선순위 } Factor_c) \times \text{점검우선순위 } Factor_a} \quad (4)$$

이 식에 제 3의 파라미터 c가 등장 할 경우에 위의 분모에다 같은 공식을 이용해서 새로운 분모를 만들고 이것을 다시 a, b, 그리고, c 3개의 파라미터에 새롭게 적용함으로써 각각의 파라미터가 현재 발생한 이탈에 미친 영향의 정도를 계산 할 수 있게 된다.

마지막으로 고려될 사항은 depo공정, photo공정, 그리고 etching공정의 입력 파라미터들의 점검 우선 순위를 결정하는 문제이다. 이를 위해서 다음 식을 사용하였다.

이전 level에 있는 입력 파라미터의 영향 정도 =

$$\text{같은 level에서 영향을 준 정도} \times \text{앞 level 계속장비의 이탈 기여도} \quad (5)$$

위 식에서 앞 level계측장비의 이탈 기여도란 현재 생산 장비 입력 파라미터가 직접적으로 영향을 주는 측정공정의 값이 앞의 한 level앞의 계측 공정에 영향을 준 정도이다. 이 이탈 기여도는 바로 앞 level의 생산 장비의 입력 파라미터와 동등한 이탈 기여도를 갖는다.

다음은 규칙의 한 예로서 etching 공정의 B 파라미터를 점검하는 내용을 보여 주고 있다.

```

RULE 1 : IF (Etching.B < MIN OR Etching.B > MAX)
  THEN (
    ETCHING_B_SPEC_OUT = TRUE
    SEND CALCULATE 점검 우선 순위 결정 Factor of
    EXP_TIME TO Etching
  )
  ELSE (ETCHING_B_SPEC_OUT = FALSE)
    
```

여기서, Etching.B라는 것은 etching공정의 B 파라미터라는 의미이다. ETCHING_B_SPEC_OUT은 RULE 1이 참이 될 때 검증되는 가설의 이름으로써 여기서는 etching 공정의 B 파라미터가 엔지니어들이 준 이탈의 기준 내에 있는지 없는지를 나타내는 지표가 된다. 만일 이 조건을 만족하게 되면 가설 ETCHING_B_SPEC_OUT은 참이 되며 (3)을 이용 B 파라미터의 점검 우선 순위결정 factor를 계산 한다.

RULE 1에서 RULE 9까지의 추론이 끝나면 이탈이 발생한 각 파라미터의 ACI-CD에 대한 이탈 기여도를 (4)를 통해서 계산해 준다. 다음은 이전 공정으로 이탈 추적을 진행 할 것인지를 결정하기 위한 RULE 8이다.

```

RULE 8 : IF (ADICD.ADICD1 > MIN OR ADICD.ADICD1 < MAX)
  THEN (
    ADLCD_CD1_SPEC_OUT = TRUE
    ADLCD_SPEC_OUT = TRUE
    SEND CALCULATE 점검 우선 순위 결정 Factor of
    ADICD1 TO ADICD
  )
  ELSE (ADLCD_CD1_SPEC_OUT = FALSE)
    
```

이 규칙은 RULE 1과 비슷한 내용을 갖지만 이전 level 공정의 규칙과의 연계를 위해서 가설 ADLCD_SPEC_OUT을 사용하는 것을 볼 수있다. 이 가설이 참이되면 RULE 10에서 RULE 14까지의 추론이 요청되어 후향 추론을 하게 된다. RULE 10에서 RULE 14까지의 추론이 끝나면 (3)과 (4)를 통해서 각 파라미터의 ADI-CD이탈에 대한 이탈 기여도가 구해 지고 (5)에 의해서 ACI-CD 이탈에 대한 최종적인 이탈 기여도가 결정된다.

IV. 적용 결과 및 향후 과제

이 장에서는 3장의 구현 방법을 기초로 해서 구현 한 규칙을 반도체 생산 라인의 실제 데이터를 가지고 적용한 예를 보여 준다.

다음은 이탈 처리 추적 시스템의 처리 결과이다.

ACI-CD값에 이탈이 발생했습니다.

다음 항목들을 점검해 보십시오.

- * Etching공정

1. B 중요도 :	0.38	실제 DATA - 797.3
2. C 중요도 :	0.28	실제 DATA - 7.0
3. F 중요도 :	0.22	실제 DATA - 11.0
4. H 중요도 :	0.06	실제 DATA - 11.0
5. ADI-CD1 중요도 :	0.44	실제 DATA - 0.4
6. ADI-CD3 중요도 :	0.24	실제 DATA - 0.5748
- * Photo공정

1. EXP_TIME 중요도 :	0.47	실제 DATA - 현 : 483 전 : 450
2. Tsin_CHK 중요도 :	0.49	실제 DATA - 1300.45
- * Depo공정

1. MFC3 중요도 :	0.19	실제 DATA - 0.6
2. SOAK_TIME 중요도 :	0.18	실제 DATA - 10100.40
3. PRESS 중요도 :	0.13	실제 DATA - 35.0
4. MFC2 중요도 :	0.12	실제 DATA - 0.05
5. CL_TEMP 중요도 :	0.09	실제 DATA - 830.7
6. PIRANI 중요도 :	0.05	실제 DATA - 65

여기서 중요도란 ACI-CD의 이탈에 영향을 준 정도를 의미하고 이 값에의해 파라미터 점검의 중요성이 결정 된다. etching공정의 B 파라미터의 실제 data는 표 1의 기준 정보와 비교할 때 MIN값이하로 떨어져 있다. 이 값을 (3)에 적용하면 점검우선순위결정 factor 값은 $((987-797.3)/(987-888.3)) \times (7/44) = 0.31$ 가 된다. 이와 같은 방법으로 C, F, H 파라미터들의 점검우선순위결정 factor값은 0.23, 0.18, 0.05가 되고, photo공정의 ADI-CD1과 ADI-CD3의 점검우선 순위 결정 Factor는 각각 0.44, 0.24이다. 이 값들을 (4)에 적용하면 각 파라미터들의 이탈 기여도가 결정 되는데 파라미터 B의 경우 바로 ACI-CD이탈에 직접적인 영향을 준 etching공정의 입력 파라미터 이므로 이탈 기여도가 바로 점검 우선 순위 중요도가 된다. 바로 이전 공정인 photo공정에서의 EXP_TIME 파라미터의 점검우선순위결정 factor값은 $(33/10) \times (3/18) = 0.55$ 가 된다. 이 값은 (5)을 이용하여 (4)에 의해 계산된 ACI-CD1과 ACI-CD3값의 이탈 기여

도에 곱해짐으로 출력 결과의 0.47값이 출력 되게 된다. depo공정도 위와 같은 과정을 통해서 위의 출력 결과가 나타난다.

이러한 결과가 나오기 까지의 추론 과정을 그림으로 보면 다음과 같다. 그림 7에서 X표가 되어진 부분은 거짓으로 검증된 조건 또는 규칙을 의미하고 V표로 된 것은 참으로 검증된 규칙 또는 조건을 의미한다. 그림 7과 그림 8은 ACI-CD값의 이탈에 영향을 준 depo공정의 CL_TEMP 파라미터를 추적하는 과정을 보여 주고 있다. 이를 위해서 먼저 ACI-CD값이 이탈 여부를 점검한다. 여기서 V표가 된 부분의 영향으로 ACI_CD_SPEC_OUT이라는 가설이 참이 되는 것을 볼 수 있다. 이와 동시에 그림 7의 오른쪽 부분에 ACI-CD1값과 ACI-CD3값이 이탈이 발생 여부를 점검하는 과정이 바로 진행된다. 이 과정에서 ADI-CD1값이 MIN값보다 작으며 ADI-CD3값이 MAX값보다 큰 이탈이 발생한 것을 볼 수 있다. 이때 ADL_SPEC_OUT 가설이 참이 된다.

그림 8의 왼쪽 부분은 ADL_CD_SPEC_OUT 가설이 참이된 것에 기초해서 THK의 이탈 여부를 검사하는 과정이다. 여기서 다시 THK_SPEC_OUT 가설이 참이 되어 Depo공정의 입력 파라미터들 중 하나인 CL_TEMP 값이 기준을 벗어나 CL_TEMP_SPEC_OUT 가설이 참으로 검증되면서 이탈 추적이 마무리 되는 것을 볼 수 있다.

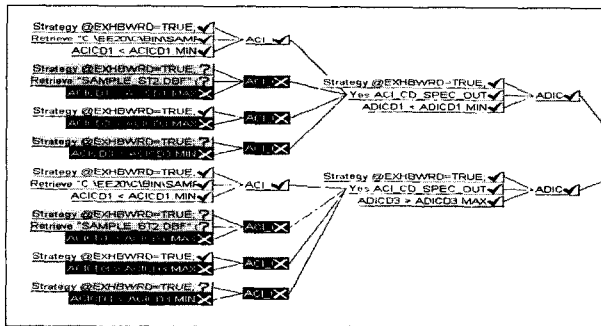


그림 7. DEPO 공정의 CL_TEMP 파라미터 오류 점검을 위한 추적 과정(1).

Fig. 7. Fault tracking diagnosis CL_TEMP parameter of DEPO process(1).

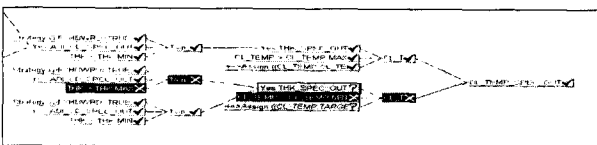


그림 8. DEPO공정의 CL_TEMP 파라미터의 오류 점검을 위한 추적 과정(2).

Fig. 8. Fault tracking diagnosis CL_TEMP parameter of DEPO process(2).

그림 9와 그림 10은 photo공정의 EXP_T 파라미터가 이탈의 원인이었음을 추론하는 과정이다. 이 순서 역시 그림 7과 그림 8과 같은 방식으로 진행되는 것을 볼 수 있다.

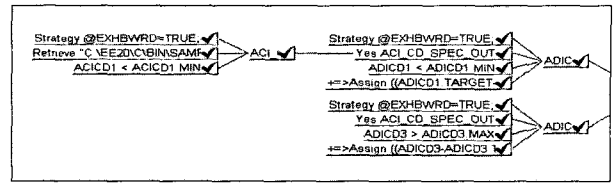


그림 9. PHOTO공정의 EXP_T 파라미터의 오류 점검을 위한 추적 과정(1).

Fig. 9. Fault tracking diagnosis EXP_T parameter of PHOTO process(1).

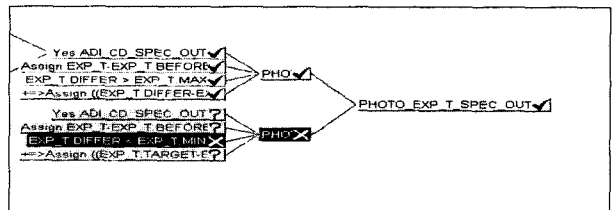


그림 10. PHOTO공정의 EXP_T 파라미터의 오류 점검을 위한 추적 과정(2).

Fig. 10. Fault tracking diagnosis EXP_T parameter of PHOTO process(2).

향후 본 논문에 구성된 공정 외에 생산라인 전체에 대한 규칙의 디자인과 구현이 이루어 져야한다. 그리고, 본 논문에서 사용된 evidence accumulation방법과 점검 우선 순위 결정 방법은 생산 라인에 적용 후에 공정 엔지니어들의 조율을 통해서 최적화 해야 한다. 현재 공정 엔지니어들이 하는 이탈 처리 작업에 유용한 좀 더 정확성 있는 이탈 처리 추적 전문가 시스템을 구현하기 위해서 본 논문에 사용된 기준 정보에 추가 할 수 있는 새로운 지식들은 다음과 같다.

첫째로, 엔지니어들로부터 얻는 좀더 세밀한 중요도 값 즉, 어느 한 항목이 계측 장비에 나타나는 이탈에 영향을 주는 정도의 %값이 추가될 수 있다.

둘째로, 생산 장비의 입력 파라미터와 계측 장비의 계측 값과의 비례 관계가 추가 될 수 있다.

셋째, 현재 이탈에 영향을 줄 수 있는 한 레벨 이상 떨어진 입력 파라미터들에 대해서 현재 레벨 입력 파라미터들과 동일하게 관리하기 위한 정보가 추가 될 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 전문가 시스템을 반도체 생산 라인의 이탈 추적 처리에 적용하였고 이를 통해서 반도체 생산 라인 또는 이와 유사한 환경에서의 이탈 처리 추적 전문가 시스템 구축에 하나의 방법을 제공하였다. 특히, 영역 전문가들의 이탈 처리에 대한 단편적인 지식을 지식 베이스(knowledge base)화 하기 위해서 전문가 시스템을 구현하는 여러 방법 중에서 생산 규칙에 기초한 규칙 베이스 전문가 시스템(rule-based expert system)을 사용하였다. 특히, 객체 지향적인 사실(fact) 모델링 기법은 규칙 베이스(rule base)를 장비별로 모듈화 해서 관리할 수 있도록 함으로써 새롭게 규칙이 추가되거나

삭제 될 경우 다른 장비에 관련된 규칙 모듈에 영향을 주지 않아 규칙 관리의 용이성을 제공해 준다. 뿐만 아니라, 각각의 장비별로 규칙 모듈을 만들어 가기 때문에 생산 라인에 새로운 장비가 추가 될 경우 그 장비에 대한 새로운 규칙 모듈을 만들어 붙일 수 있도록 하여 새로운 규칙의 추가에 용이성을 제공한다. 또한 evidence accumulation 방법을 이용한 이탈 기여도 계산 방법을 통해 계측 장비와 생산 장비의 물리적인 지표들을 가공하여 논리적인 연산에 사용할 수 있는 확신 지수(certainty factor)로 변환하여 점검 우선 순위를 결정하는데 사용하였다. 이로 인해서 생산 라인의 엔지니어에게 이탈의 발생 유무뿐만 아니라 이탈의 정도를 보여줌으로서 의사결정에 좀 더 자세한 근거를 제공해 준다.

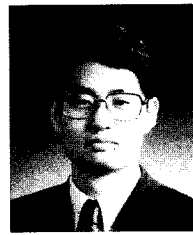
참고문헌

- [1] R. Knight, *Artificial Intelligence : The Second Edition*, McGrawHill, 1991.
- [2] P. H. Winston, *Artificial Intelligence : The Third Edition*, Addison Wesley, 1992.
- [3] Mcgraw, Harbison-briggs, *Knowledge Acquisition : Principles and Guidelines*, Prentice-Hall, 1989.
- [4] J. Giarratano, G. Riley, *Expert Systems - Principles and Programming : Second Edition*, PWS Publishing Company, 1994.
- [5] C. S. Krishnamoorthy, S. Rajeev, "Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers," CRC Press, 1996.
- [6] 김화수, 조용범, 최종욱, "전문가 시스템," 집문당, 1995.
- [7] B.P. Zeigler, "Objects and Systems," Springer, 1997.
- [8] 이윤배, "전문가 시스템," 홍릉 과학 출판사, 1997.
- [9] 정일주, "전문가 시스템," 시그마 프레스, 1995.
- [10] *Neuron Data Elements Environment Intelligent Rules Element Manual* version 4.0, Neuron Data.
- [11] F. Zahehi, *Intelligent Systems for Business - Expert Systems with Neural Networks*, Wadsworth Publishing Company, 1993.
- [12] E. Kaszkurewicz, A. Bhaya, N. F. F. Ebecken, "A fault detection and diagnosis module for oil production plants in offshore platforms," *Expert System With Applications*, vol. 12, no. 2, pp. 189-194, 1997.
- [13] K. H. Lee, D. Lee, S. H. Han, "Object-oriented approach to a knowledge-based structural design system," *Expert Systems With Application*, vol. 10, no. 2, pp. 223-231, 1996.
- [14] L. M. Fu, *Neural Networks In Computer Intelligence*, McGrawHill, 1994.
- [15] S. T. Welstead, *Neural Network And Fuzzy Logic Applications In C/C++*, Wiley, 1994.
- [16] L. F. Atherton, R. W. Atherton, *Wafer Fabrication : Factory Performance and Analysis*, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [17] 전자 자료사 편집부, "반도체(공정 및 측정)," 전자 자료사, 1996.
- [18] I. Pohl, *C++ For C Programmers : Second Edition*, The Benjamin Cummings Publishing Company, 1994.
- [19] B. P. Zeigler, "Some properties of modified dempster-shafer operators in rule based inference system," *Int. J. General Systems*, vol. 14, pp. 345-356, 1988.
- [20] G. F. Luger, W. A. Stubblefield *Artificial Intelligence - Structures and Strategies for Complex Problem Solving : Second Edition*, The Benjamin Cummings Publishing Company, 1993.
- [21] T. Dean, J. Allen, Y. Aloimonos, *Artificial Intelligence - Theory and Practice*, The Benjamin Cummings Publishing Company, 1995.
- [22] HREF [http : //www.cs.cmu.edu/Groups/AI/html/faqs/ai/fuzzy/part1/faq-doc-0.html](http://www.cs.cmu.edu/Groups/AI/html/faqs/ai/fuzzy/part1/faq-doc-0.html)



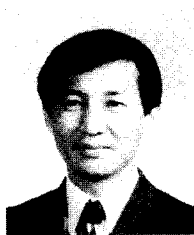
김형종

1974년 2월 21일생. 1996년 성균관대 정보공학과 졸업. 1998년 동대학 석사, 1998년-현재 성균관 대학교 박사 과정 재학중. 관심 분야는 시뮬레이션 모델링 방법론, 전문가 시스템.



조대호

1960년 8월 22일생. 1983년 성균관대 전자공학과 졸업. 1987년 Univ. of Alabama 전자공학 석사. 1993년 Univ. of Arizona 컴퓨터 공학 박사. 1993년-1995년 경남 대학교 전자 계산 학과 전임 강사. 1995년-현재 성균관 대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 조교수. 관심 분야는 시뮬레이션 모델링 방법론, 지능형 시스템, 공장 자동화, 인공 지능.

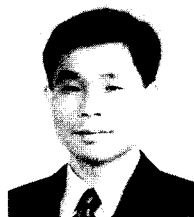


이철기

1953년 11월 21일생. 1980년 성균관대 전자공학과 졸업. 1980년-1983년 한국 방송 공사 근무, 1985년 Arizona State Univ. 석사, 1990년 Univ. of Arizona 박사. 1990-1995년 삼성전자 선임 연구원. 1995년-현재 성균관 대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 조교수. 관심 분야는 컴퓨터 시뮬레이션 및 객체지향형 모델링, 공장 자동화.

김훈모

제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지 제4권, 제3호, 참조.



노용한

1958년 4월 24일생. 1986년 성균관대 전자공학과 졸업. 1990년 Univ. of Houston 전기공학 석사. 1994년 Univ. of Houston 전기공학 박사. 1995년-현재 성균관 대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 조교수. 관심 분야는 반도체 공학, 마이크로 소자.