

▣ 연구논문

SCM에서의 효율적인 혼입방지시스템에 대한 연구

A Study on the Prevention System of Mixed Assembly Under the Part of Supply Chain Management using Uncommon BOM

강 민 식¹⁾

Kang, Min Shik

김 재 련²⁾

Kim, Jae Yearn

Abstract

The efficient quality assurance system to prevent mixed assembly is introduced in this paper. It supports JIT(Just-In-Time) based Kanban and demand pull system. A new system is designed for the synchronized production and quality assurance using barcode and production kanban card. And the performance improvement method for the stable and fast response of the proposed system is suggested in this paper also. As the result of the proposed system, we improved production status visibility and quality traceability.

1. 서 론

최근의 기업환경은 글로벌화, 고객수요의 다품종 소량화, 주문에서 배송까지의 단납기화, 제품수명의 단축, 빠른 제품 출시등 생산자 중심에서 고객중심으로의 변화가 급속히 진행되면서 공급사슬경영에 대한 이론적 연구와 실질적 구현기법과 제품들이 활발해 지고 있다. 공급사슬 경영(supply chain management: SCM)은 공급자에서 고객까지의 전 공급 사슬에서 발생하는 정보와 물자, 현금의 흐름에 대해 총체적 관점에서 체인간의 인터페이스를 통합하고 관리함으로써 효율을 극대화하는 전략적 기법이라고 정의할 수 있다[3]. 이러한 환경의 변화는 기업들로 하여금 외부의 변화 요인들을 적절히 반영하여 의사결정을 내리도록 함과 동시에 고객만족을 위해 적극적으로 대처할 수 있도록 하는 내부 프로세스를 갖출 것을 요구하고 있다. 이 의미는 고객의 주문에 맞춰 자재조달에서부터 생산, 판매, 유통에 이르기까지 공급사슬(supply chain) 전체의 기능 통합과 최적화의 필요성이 커지고 있다는 것을 의미한다. SCM에 있어서 누구나 동의하고 있는 사실중의 하나는 SCM의 경쟁력은 경영활동을 통합적인 관점에서 접근하고자 하는데 있다는 것이다[6]. 이런 통합의 개념은 문헌마다 조금씩 다른 용어로 사용되고 있는데 통합적 구매전략이나 공급자 통합, 구매-공급자 제휴나 공급사슬 동조화(supply chain synchronization)[6] 또는 통합적 공급사슬경영[8] 등이 있다. 이러한 문헌들은 SCM이 성공하기 위해선 공급사슬경영통합화가 가장 선결 과제임을 주장하고 있다[7],[11]. 최근 글로벌 사업환경에서 생산 및 판매기지가 전 세계로 광범위하게 분포됨으로써 조립라인에서의 불량이 해외의 물류센터(TPL,DC)에서 발견될 경우의 재작업 비용(rework cost)나 기업의 브랜드 신뢰도 하락 문제는 회사의 존폐를 가름할 정도로 중요하다. 이러한 문제를 작업자의 숙련도에 의존한다는 것은 매우 위험하다. 따라서 원천단계에서의 품질보증에 대한 근원적이고도 시스템적

1) 한양대학교 산업공학과 박사과정

2) 한양대학교 산업공학과 교수

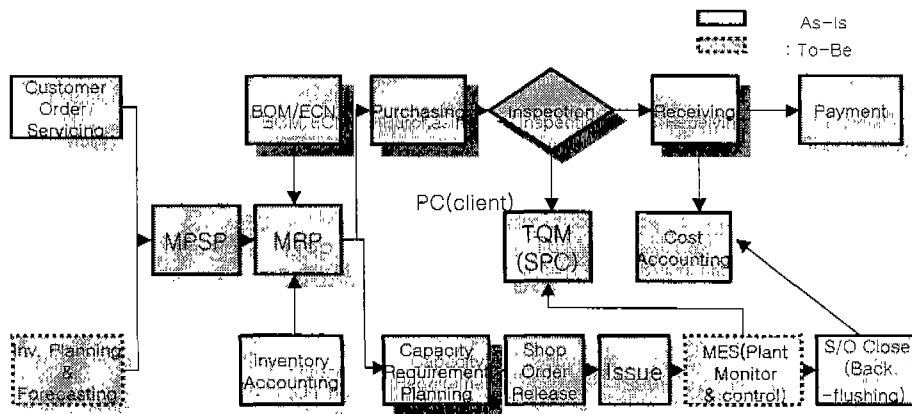
접근이 필수적이다.

본 논문에서는 공급사슬 경영의 운영레벨에서의 제조실행시스템(Manufacturing Execution Systems) 중에서 짧은 사이클 타임을 갖는 다품종 혼합생산 JIT 환경에서의 작업자의 부품혼입을 방지 할 수 있는 시스템적 접근 방안을 제안하고, 그 시스템이 보다 빠른 반응시간을 갖기 위한 방법을 제시한다.

2. 혼입방지 시스템

2.1 혼입방지 시스템의 정의와 목적

로트 생산방식에서는 작업자가 일정량의 로트 수량 내에서는 같은 제품이 흐르므로 같은 부품을 조립하지만 JIT체제에서는 처음 조립 제품과 다음 제품이 서로 다른 제품(기종,모델)이 흐르게 되므로 작업자가 다른 제품에 쓰이는 부품을 조립할 가능성이 있다. 평준화 생산을 하기 위해선 해당 조립라인의 보증공정에서 생산하는 각 제품별로 소요되는 부품을 해당 공정의 작업자의 활동반경에 전부 위치시켜야 하고, 현재 생산중인 제품에 맞는 부품이 조립되는 것이 보증되어야 한다. 이와 같이 조립라인의 품질보증을 필요로 하는 주요 공정에서 해당 제품에 사용되어지지 않는 부품을 조립하는 것을 막기 위한 시스템을 혼입방지시스템이라 정의한다. 혼입방지시스템은 전체 SCM시스템 중 공장 내부의 제조실행시스템의 일부 기능이다.



<그림 1> 전체통합시스템과 제조실행시스템의 연관관계

이 시스템의 목적은 전체 공정중에서 품질을 절대 보증해야 하는 주요공정에서의 작업자의 조립 실수를 시스템에 의해서 근원적으로 방지하는데 있다. 그 외에도 스캔과 동시에 재공재고의 주문점(reorder point)에 이르면 부품을 창고에서 라인으로 적시에 투입하는 자동보충시스템 기능과 검사공정에서의 검사이력, 생산실적 및 현황의 실시간 추적, 생산성 평가지수(KPI:Key performance index)의 산정, 품질 문제시에 빠른 검색으로서 추적관리를 보증해 주는 중요한 역할을 한다. 이 시스템은 지역적으로 멀리 떨어져 있는 판매회사의 거점에서 인터넷을 통한 생산현황 조회로 자신의 주문 진행상태를 실시간으로 파악함으로써 납기확약(ATP:Available-To-Promise)을 가능하게 해준다.

2.2 혼입방지 시스템의 구현 및 사례

혼입방지 시스템의 운영절차는 다음과 같다.

단계 1. JIT 조립라인의 주요 보증 공정에 혼입방지시스템이 운영되는 PC(client)와 바코드 리더기를 설치한다.

단계 2. 주요부품에는 협력업체에서 Web 기반의 SCM 시스템에서 인쇄, 부착한 <그림2>과 같은 부품 번호와 제조일의 정보가 기록된 부품바코드가 부착되어 있다.



< 그림2 > 부품바코드

단계 3. 작업이 시작되면 상위 SCM 시스템의 작업지시 시스템에서 내려온 작업지시 간판인 Product configuration card <그림 3>가 제품 한 대의 생산 속도에 맞추어 발행된다. 이 시스템은 제품의 각 몰류센터의 출하속도를 근거로 자동보증시스템 및 평준화 생산의 개념에 의해 생산량 및 생산 순서가 결정된다.

작업	작업	작업	수량
IF-210	00021	00-05-09	1 / 100
Operation	Part Number	Description	OK
M-1	F00211D	BRACKETLEFT:FCU	<input type="checkbox"/>
M-2	F00000BALD	PCB:ASBY:FCU-RATURNUS	<input type="checkbox"/>
M-3	PALLETO	PEU:ASBY	<input type="checkbox"/>
	F00001ED	M/H ASBY:FCU-OPU	<input type="checkbox"/>
	F00001DS	M/H ASBY:FCU-CIR	<input type="checkbox"/>
M-9	F00000C0C	COVER:REAR:TALURN1	<input type="checkbox"/>
표준	F00000A0	DECAL:P:SUB:IF210	<input type="checkbox"/>
	F00015AB	DECAL:DATA SHEET:IF210	<input type="checkbox"/>
교정	F00000SS	WINDOW:LCD:IF210	<input type="checkbox"/>

<그림 3> Product Config Card

단계 4. 첫 번째 공정(SOL:Start of Line)의 조립작업자가 작업지시 간판 <그림 3>의 제품코드를 스캔한다. 첫 공정 작업자는 핵심부품 보증 공정이 아니어도 무조건 스캔한다. 이로부터 생산현황이 실시간으로 데이터베이스에 축적되고, 공급사슬내의 승인된 기업은 실시간 모니터링이 가능해진다. 만약 이 공정이 핵심부품 체크 공정이라면 단계 5를 시행한다.

단계 5. 스캔 대상이 되는 주요 공정의 다음 작업자는 작업지시 간판 <그림 3>의 제품코드와 조립해야 될 부품에 부착된 부품번호 <그림 2>를 스캔한다.

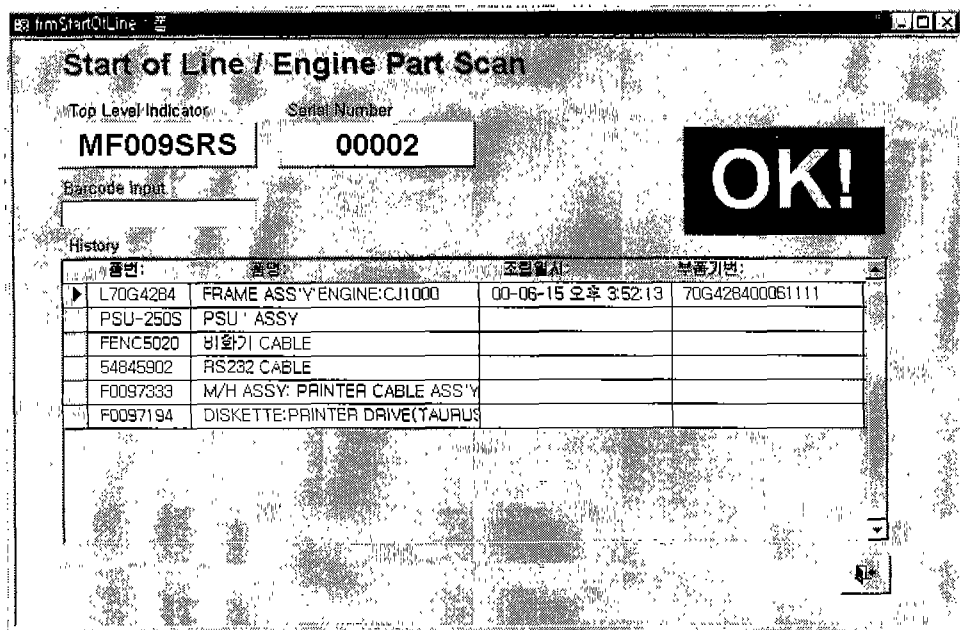
단계 6. 혼입방지 시스템은 뒤에서 설명 할 Uncommon BOM database를 조회하여 맞는 부품을 조립하고 있는지의 여부를 <그림 4>에서처럼 OK 또는 NG 표시로 알려준다.

단계 7. 다음 작업자는 선공정의 작업결과가 OK되지 않으면 시스템에서 다음 공정 작업자의 스캔을 거부함으로써 작업자의 실수를 2중으로 보증하게 된다.

단계 8. 스캔 대상이 되는 주요 공정의 작업자는 단계 5를 반복한다.

단계 9. 마지막 작업자는 단계 4를 시행한다.

마지막 단계가 끝나면 아래 <그림 5>와 같은 PartScan table 의 결과가 저장된다. 여기서 TLI(Top Level Indicator)는 BOM상의 최상위를 가리키는 제품코드이며, 어떤 공정에서 어떤 제품의 기번(기계의 순차번호)에 어떤 부품의 품번, 일련번호가 조립되었는지가 기록되어 향후 제조라인 이외의 장소에서 불량 발견된다 하더라도 즉시 제품 기번과 해당 제품의 부품 일련번호를 추적하여 불량의 원인을 최대한 빠르게 발견하고, 조치를 가능하게 할 수 있다. 최종공정(EOL:End of line)의 조립시간에서 첫공정(SOL: Start of line)의 조립시간을 빼면 생산 리드타임 정보인 TPCT(Total Process Cycle Time)을 구할 수 있다.



<그림 4> 혼입방지시스템 구현사례 화면

TLI	기번	공정ID	품번	Assembled Time	PartSerialNo
MF009SR	1	2	F0096001D	00-06-15 오후 4:00:00	F0096001D0060001
MF009SR	1	5	PSU-210		
MF009SR	1	1	L70G4284		

<그림 5> PartScan table

3. 혼입방지 시스템의 수행속도 향상방안

여기서 한가지 중요한 요소는 시스템의 반응속도이다. 조회시간의 지연은 조립 라인의 제품

사이클 타임을 정비레로 증가시키므로 생산효율에 치명적인 역할을 한다. 따라서 혼입방지 시스템은 작업자가 지연(delay)을 느끼지 못할 정도(no wait)의 속도와, 그 속도의 안정성이 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 스캔한 부품의 적합성을 일반 BOM을 역전개(implosion)하는 방법 대신 uncommon BOM에서 조회함으로써 조회속도를 향상시키는 방법을 제안한다.

3.1 uncommon BOM

uncommon BOM은 Modular BOM중 부분공통모듈과 유일모듈을 합한 BOM으로써 본 연구에서 최초로 제안하는 BOM의 한 형태이다. Modular BOM이란 제품군에서 사용되는 부품들을 공통부품과 전용부품으로 분리하여 BOM을 공통모듈과 전용모듈로 표시하는 방법이다. Modular BOM은 Planning BOM의 한 형태로 수요예측의 관점에서 최종제품이 가지는 사양 (Option)별로 모듈을 구성하여 수요예측과 대일정계획을 단순화시키기 위해 사용한다[2]. 이 방법은 생산통제 환경이 계획생산(Make-to-stock)에서 반제품예측생산(Assemble-to-order) 또는 선택적 주문생산(Configure-to-order)으로 변화함에 따라 대일정계획을 수립하기 위해 도입된 이단계 대일정계획(Two-Level Maser Production Schedule)에 사용된다. 이단계 대일정계획은 동일한 제품에 대하여 상위단계의 계획과 하위단계의 계획을 수행하는 것이다. 상위단계의 계획은 최종제품에 대한 생산계획이며, 하위단계의 계획은 가장 적게 제품을 표현할 수 있는 부품을 포함하는 대일정계획을 말한다[9].

Common, Uncommon BOM이 가지고 있는 일반적인 장점은 다음과 같다.

- 1) modular설계로 신모델 개발납기 단축.
- 2) 부품 공용화, 표준화에 의한 비용절감과 생산성 및 품질 향상.
- 3) 제품을 그룹화하여 예측이 용이해진다.
- 4) BOM 전개시간 단축으로 발주, 전용자재 조회, 일괄 로트 출고 전산 처리 시간등이 획기적으로 감소된다.

Modular BOM은 다음 세가지로 구분할 수 있다 [8].

- 1) 제품군 공통모듈(Family Common Module) ; 제품군 공통모듈은 제품군내 모든 제품들에 대하여 공통적으로 사용되는 공용 부품을 모아 놓은 모듈이다.
- 2) 부분공통모듈(Partially Common Module) ; 부분공통모듈은 제품군내 일부 제품과 제품사이에 부분적으로 공통으로 사용되는 부분공용 부품을 모아 놓은 모듈이다.
- 3) 유일모듈(Unique Module) : 유일모듈은 한기종에만 사용되는 전용 부품(Unique part)으로만 구성된 BOM이다.

3.2 uncommon BOM 생성 절차

단계 1. 소요유부값 생성

하나의 제품군에 소요되는 각 부품(component)이 각 제품에 사용되는지의 여부를 matrix형태로 표현한다[1]. 각 열(column)은 제품군을 이루는 제품번호 값을 생성하고, 각 행(row)은 각각의 제품을 전개한 부품번호를 부품번호순으로 정렬시켜, 부품j의 제품i에 사용되는 소요유부값은 소요량이 없으면(null value) 0이 되고, 있으면(not null value) 1의 값을 가진다. 각 제품들은 위치한 열의 순서에 의해 위치값(Position value)을 할당받으며 제품군의 크기가 n이라면 위치값은 0부터 n-1까지의 정수값이 된다.

단계 2. 특성치 계산

제품군값(PFG_value)과 제품값(Product_value), 부품값(Component value)를 아래와 같은 기준으로 계산한다.

- 1) 제품군값(PFG_value) = $\sum 2^i = 2^n - 1$ ($i=0,1,2,..,n-1$)
- 2) 제품값(Product_value) = 2^i
- 3) 부품값(Component_value) = $\sum(\text{제품값} * \text{소요유무})$

단계 3. 제품군공통부품, 전용부품 분리 추출기준

모듈 구분	추출조건	BOM 구분
제품군공용모듈	부품값 = 제품군값	Common BOM
전용모듈	부품값 <> 제품군값	Uncommon BOM

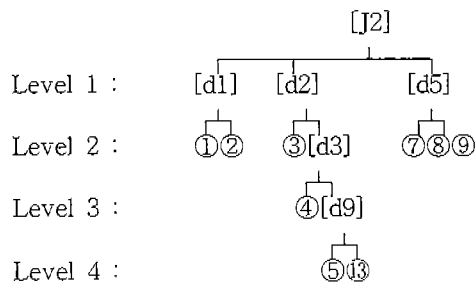
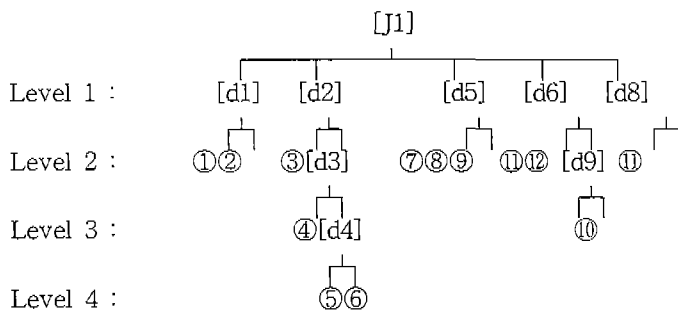
<표 1> Uncommon BOM 추출기준

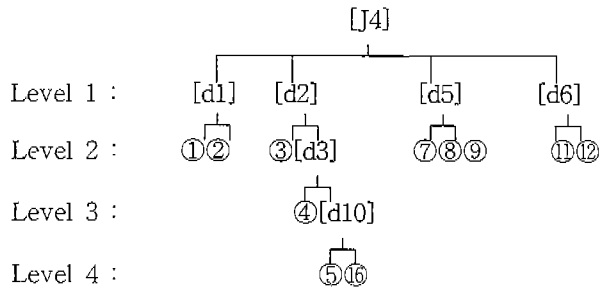
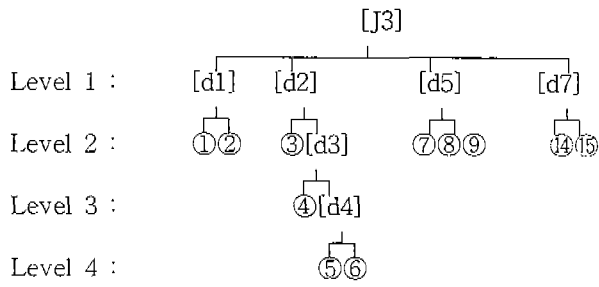
단계 4. 제품군 공통모듈(Family common module)을 제외하고, 나머지 부분공통모듈과 유일모듈을 합해 Uncommon BOM을 생성시킨다.

3.3 uncommon BOM 생성 사례

다음 제품 J1, J2, J3, J4는 한 제품군(Product family)이고, BOM구조는 다음과 같다.

범례 [Ji] : 제품 , [di] : 중간조립품, ① : 부품 (i=1,2,...n)





<그림 5> 설계 BOM 구조 (예)

J1,J2,J3,J4 는 한 라인에서의 평준화생산의 대상이 되는 제품들이다. ⑥ 부품을 제외한 ①부터 ⑨까지의 부품은 제품군 공용부품이고 ⑥과 ⑩부터 ⑬까지의 부품이 전용부품이 되어 혼입 방지 시스템에서 사용될 uncommon BOM table의 record로 생성된다.

- 1) 제품군값(Product_group_value) = $\sum 2^i = 2^n - 1 = 15$, $n=4$
- 2) 제품값(Product_value) = 2^i 제품값[J1,J2,J3,J4] = [1,2,4,8]
- 3) 부품값(Component_value) = $\sum(\text{제품값} * \text{소요유무}[0,1])$

제품번호 부품번호	J1	J2	J3	J4	부품값	구 분	BOM종류
①	1	1	1	1	15	완전공용	common
②	1	1	1	1	15	완전공용	
③	1	1	1	1	15	완전공용	
④	2	2	2	2	15	완전공용	
⑤	1	1	1	1	15	완전공용	
⑦	3	3	3	3	15	완전공용	
⑧	1	1	1	1	15	완전공용	
⑨	1	1	1	1	15	완전공용	
⑥	2	0	2	0	5	부분공용	
⑩	2	0	0	0	1	전용	
⑪	2	0	0	1	9	부분공용	
⑫	4	0	0	4	9	부분공용	
⑬	0	1	0	0	2	전용	
⑭	0	0	1	0	4	전용	
⑮	0	0	4	0	4	전용	
⑬	0	0	0	1	8	전용	

<표 2> uncommon BOM 추출 결과

rec_no	제품코드	부품코드	소요량
1	J1	⑥	2
2	J3	⑥	2
3	J1	⑩	2
4	J1	⑪	2
5	J4	⑪	1
6	J1	⑫	4
7	J4	⑫	4
8	J2	⑬	1
9	J3	⑭	1
10	J3	⑮	4
11	J4	⑯	1

<표 3>의 uncommon BOM Table 레코드

<표 2> 는 각 부품을 최종 제품(TLI:Top Level Indicator)에 몇 개씩이 쓰이는가를 2차원 배열 형태로 만든 where used matrix table이다. 표안의 숫자는 소요량을 의미한다.

예를 들어 부품 ⑥의 부품값은 $\sum(\text{제품값} * \text{소요유무}[0,1]) = 1 * 1 + 2 * 0 + 4 * 1 + 8 * 1 = 5$ 가 된다. 제품군값은 $1+2+4+8=15$ 가 되고, 각 부품값과 제품군값을 비교하여 일치하면 common BOM, 다른 것은 uncommon BOM Table의 레코드로 생성한다. Uncommon BOM의 데이터베이스 구조는 다음과 같고, <표 2>의 uncommon BOM Table을 레코드의 형태로 표현하면 <표 3>과 같다. 여기서 Primary Key 는 제품코드+부품코드이다.

3.4 uncommon BOM 수행속도 비교

다음은 실제로 운영중인 일반BOM과 uncommon BOM Database table을 조회한 결과를 요약한다.

[1] Common BOM Table 조회

```
SQL> SET AUTOTRACE ON EXP
SQL> SELECT LEVEL,자품번,모품번,소요량
      FROM BOM
      CONNECT BY 자품번=PRIOR 모품번
      START WITH 자품번='P16';
```


LEVEL	자품번	모품번	소요량
4	p16	d10	1
3	d13	d3	1
2	d3	d2	1
1	d2	J4	1

CPU 시간: 0.32 sec

Execution Plan

```

0      SELECT STATEMENT Optimizer=RULE
1      0      FILTER
2      1      CONNECT BY
3      2      TABLE ACCESS (BY INDEX ROWID) OF 'B_품목구성'
4      3      INDEX (RANGE SCAN) OF '품목구성_FK_I' (UNIQUE)
5      2      TABLE ACCESS (BY USER ROWID) OF 'B_품목구성'
6      2      TABLE ACCESS (BY INDEX ROWID) OF 'B_품목구성'
7      6      INDEX (RANGE SCAN) OF '품목구성_FK_I' (UNIQUE)
    
```

[2] Uncommon BOM Table 조회

```

SQL> SELECT * FROM uncommon_bom WHERE 제품코드 = 'J4' AND 자부품 = 'P16'
제품코드      LINE      시작일      자부품
-----
J4            A1      2001.09.10      P16
    
```

CPU 시간: 0.02 sec

Execution Plan

```

0      SELECT STATEMENT Optimizer=RULE
1      0      TABLE ACCESS (BY INDEX ROWID) OF 'B_UNCOMMON'
2      1      INDEX (UNIQUE SCAN) OF 'UNCOMMON_PK' (UNIQUE)
    
```

Uncommon BOM 조회는 인덱스를 이용한 direct unique scan을 한다. 일반 BOM을 조회할 경우, 해당 BOM의 레벨에 따라 역전개시 n-레벨의 recursive access를 해야 한다. 일반 BOM은 위 결과에서 보듯이 해당 모품번(TLI)을 찾아가는 과정에서 차상위 품번을 모르기 때문에 직접 탐색이 불가능하고, 자품번으로서만 스캔하는 범위탐색(range scan)을 TLI를 찾을 때까지 반복하기 때문에 레벨이 깊을수록 찾는 속도가 늦어진다. 또한 Uncommon BOM은 일반 BOM에 비해 훨씬 작은 수의 레코드만을 가지고 있으므로 더욱 탐색시간은 짧아 질 수 밖에 없다. 위 실험결과는 Oracle 8.1.6 환경하에서 40여만건의 실운영 데이터베이스에서 50회의 평균값을 취한 결과이다. Uncommon BOM 조회속도는 0.02초로 4레벨의 일반 BOM의 역전개시보다 16배의 빠른 반응속도가 나왔다. 만일 일생산량이 1000대이고 스캔 해야되는 핵심 보증공정수가 20개라면 $(0.32-0.02)*1000*20 = 6000 \text{ sec/day}$, 즉 하루에 100분 정도의 작업수행속도가

차이가 난다. 또한 Uncommom BOM 조회는 direct unique scan이므로 비교적 일정한 속도를 보장한다. 물론 Uncommom BOM은 본사의 일반BOM 서버와는 별도로 해당 지역(local) 서버이어야 하고, 마감처리와 같은 부하를 받지 않는 자유로운 환경이 전제되어야 한다.

4. 결 론

본 연구는 글로벌 환경에서의 고객의 다양한 요구에 맞추어 제조, 납품해야 하는 Mass Customization이 보편화면서 짧은 사이클타임을 갖는 다품종 대량생산 환경에서 작업자의 부품 혼입을 근원적으로 방지 할 수 시스템적 접근 방안을 제시하고, 시스템이 보다 빠르고 안정적인 반응속도를 확보 하기 위해 Uncommon BOM을 조회하는 접근 방법을 제안했다.

혼입방지시스템은 바코드 장비를 이용하여 미리 정의된 Uncommon BOM을 조회함으로써 작업자가 작업의 적합판단을 가시적이고, 시스템적으로 가능하게 해주어 작업의 실수를 근원적으로 방지해 주며, 전체공급사슬경영 중 생산(Make) 분야의 투명성을 확보해준다. 실제 운영환경에서 Uncommon BOM을 사용한 결과, 일 100분의 작업시간을 단축하는 퍼포먼스 향상을 가져왔다. 내부 제조수행시스템으로서의 본 연구는 실제 산업현장에 적용하여 생산 및 품질 현황의 투명성(visibility)과 추적성(trace ability)을 확보하는데 큰 도움이 되었고, 향후 추가 연구과제로는 공급사슬경영의 전후방 연관 시스템과의 연동에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 이한표 “Family BOM(bill of material) 데이터베이스 설계 연구 : 목적별 BOM연결 구조의 간접 표현 방법”, 석사학위논문, 국민대학교 대학원 정보관리학과, 1996.
- [2] 지용구 “Modular BOM의 생성 및 데이터베이스 구축을 위한 연구”, 석사학위논문, 서울대학교 대학원 산업공학과, 1996.
- [3] 후쿠시마 요시아키, SCM 경영혁명, 21세기북스, 1998.
- [4] 한국능률협회컨설팅 생산시스템혁신본부 역, 동기생산시스템, 1990.
- [5] 임석철 “한국기업의 SCM 업무사례 분석”, 대한산업공학회지, 13(3) pp. 497
- [6] Bechtel, C. & Jayaram, J. (1997), Supply Chain Management: A strategic perspective, Int. J. of Logistics and Management, 8, 15-34.
- [7] Johnson, R. & Lawrence, P.(1998), beyond vertical integration-the rise of value adding partnership, Harvard Business Review, July-August, 94-101.
- [8] Kannan.V. R., Tan, K. C., and Handfield, R. B.(1998), Managing competition, quality, customer relations, and the supply base, and its impact on firm performance, Proc. of 1998 Annual Meeting, Decision Science Institute, 1259-1261.
- [9] K.J.Balcerak, B.G.Dale., “Structuring modular bills of material with usage pattern analysis,” International Journal of Producton Research, Vol. 30, No.2,283-298,1992.
- [10] Kiyoshi Suzaki., “The New Maunufacturing Challenge”, The Free Press,New York, pp. 159-179, 1987
- [11] Walton, S. V. & Gupta, N. D. (1999), Electronic data interchange for process change in an integrated supply chain, Int. J. of Operations. & Production Management, 19, 45-73.
- [12]] Supply Chain Council (<http://www.supply-chain.org>)