

반도체 MBT 공정의 Rework 제품 투입결정에 관한 연구 A Study of Rework Strategies in Semiconductor Monitoring Burn-in Test Process

이도훈*·고효현**·김성식***
고려대학교 산업시스템정보공학과

* : dohoon@korea.ac.kr, ** : swish17@korea.ac.kr, *** : sunskim@korea.ac.kr

Abstract

본 연구는 반도체 검사공정 중의 하나인 MBT 공정의 Rework 투입정책에 관한 연구이다. MBT 공정에서는 제품의 신뢰성과는 상관없이 설비오류로 인한 불량품이 다량으로 발생한다. 이러한 불량품을 MBT 공정의 재검사 작업인 Rework을 통해 양품으로 전환하게 된다. MBT 공정의 Rework은 FAB 공정 이후의 많은 공정을 거치지 않고 단일공정 진행으로 새로운 양품을 얻을 수 있는 이점을 가진다. 반면에 Rework 비용 및 공정재고비용이 발생하는 특징이 있다. 현재 MBT 공정의 Rework 작업은 정해진 규칙 없이 작업자 경험에 의존하여 진행하며, 제품의 중요도 및 재고량에 따라 투입이 정해진다. 또한 주문 작업의 투입일정과 납기를 고려하지 않은 Rework 작업으로 인해 납기차질이 발생하기도 한다. 본 연구에서는 Rework 작업이 생산계획에 영향을 주지 않는 범위 안에서의 투입계획을 제안한다. 또한 MBT 공정의 Rework 이익인 제조원가 절감이익과 비용인 Rework 비용, 재고비용을 고려한 Rework 제품 투입정책을 제안한다.

Keyword : MBT, Rework, Semiconductor

1. 서론

반도체 공정은 FAB(Fabrication), EDS(Electrical Die Sorting), 조립, Test, Module의 5가지 공정으로 나누어진다. Test 공정의 세부 공정인 MBT 공정은 높은 온도와 높은 전압의 환경 하에서 가혹시험을 진행하는 공정으로 전수 검사로 진행된다.

MBT 공정에서는 Package 형태로 가공된 단위 제품을 MBT Board에 삽입하여 125°C 이상의 고온의 Chamber 내에서 장시간 쓰기와 읽기를 진행하여 제품의 신뢰성을 검사한다. MBT 공정 전에 진행되는 DC Test는 조립 공정 중에 발생한 불량을 MBT 공정 투입 전에 제거하는 공정이다. 제품의 일부 불량은 MBT Board에 심각한 훼손을 발생시킬 수 있어서 모든 제품은 MBT 공정 전에 반드시 DC Test 공정을 거친다.

MBT 공정에서는 제품과 Board, Board와 Chamber Slot간의 전기적 접촉 오류로 제품의 신뢰성과는 상관없이 설비 오류로 인한 불량품이 발생한다. 이러한 불량품은 재생을 위해 불량품 재선별 과정을 거친다. 본 연구에서는 MBT 공정의 설비오류로 인한 불량품을 Rework 제품으로 정의한

다. 또한 재선별 과정을 Rework 작업으로 정의한다. MBT 공정의 Rework 제품 발생률은 전체 생산량 대비 5% 이상이며, 전체 Test 공정의 Rework 제품량 대비 95% 이상이다.

MBT 공정에서 Rework 작업을 하는 가장 큰 이유는 FAB에서 조립 공정까지의 많은 공정을 거치지 않고 단일공정 진행만으로 많은 양의 양품을 얻을 수 있기 때문이다. Rework 작업을 통해 얻어진 양품만큼 다음 고객의 주문 시에 덜 생산히도 되므로 생산원가를 절감하는 효과를 가지게 된다. 반면에 Rework 비용이 추가로 발생하고, Rework 작업 대기로 공정재고 비용이 증가하며, 주문 작업의 납기 차질을 발생시킬 수 있다.

Rework은 반도체산업 뿐만 아니라 많은 제조 산업에서 중요한 이슈사항이다.[1] 이에 따라 1990년대 이후 Rework 제품의 재고관리와 투입정책에 관한 많은 연구가 진행되었다. 하지만 지금까지 Rework에 관한 연구는 재고정책과 경제적 실익에 따른 Rework 작업 Lot의 크기 결정 문제가 대부분이었다. 여러 제품이 동시에 생산되고, 생산계획이 계속해서 변경되며, Rework 제품이 무작위로 발생하는 현실을 감안한 Rework 제품 투입정책에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

Rework 대기제품의 재고관리에 대한 기존의 연구로는 Flapper, S.D.P[2]의 연구가 있다. Flapper, S.D.P[2]는 폐기전략 및 Rework 전략에 따른 단위 시간당 평균이익을 산출하였다. 하지만 일반제품과 Rework 제품의 Lot 수량은 항상 일정하다고 가정하였고, 주문 제품의 생산계획 조정에 따른 납기차질을 고려하지 않았다. Jamal, A.M.M[5]은 Rework 주기에 따른 공정 재고비용과 소비자 위험확률을 연구하였다. 하지만 Rework 주기를 일정한 주기로 정하는 경우나, 정해진 Rework Lot수량만큼 모였을 때로 한정하였다.

Rework 제품 투입정책에 관한 연구는 주로 재고정책에 따라 최적의 Batch Size를 결정하는 문제에 초점을 두었다. Liu, J.J.[3], H.Teunter, Ruud[7]은 단일제품 생산 조건에서 단위시간당 평균이익을 최대화하는 최적의 Rework Lot 수량결정 방법을 제시하였다. Hayek, P. A.[4]는 공정재고 비용을 최소화하는 Rework 제품 진행방안을 제시하였다. 하지만 Rework 제품의 발생 비율은 항상 일정하다고 가정하였다. 그밖의 연구로, Abdel-Malek, L.[10]은 Rework 작업을 경제적으로 수행하기 위한 설비 및 공정선택 방법을 제시하였다.

현재 MBT 공정의 Rework 작업은 작업자의 경험에 의존하여 진행된다. 작업시간 사이의 여유시간이 발생하면 제품 중요도가 높은 제품이나 대기수량이 많은 제품이 우선적으로 투입된다. 이로 인해 일부제품은 Rework 작업이 장기간 진행되지 않아서 공정재고 비용이 지속적으로 증가하였다. 또한 여유시간을 정확히 고려하지 않아서 주문 작업의 납기차질을 발생시켰다.

본 연구에서는 이러한 기존의 Rework 작업을 개선하기 위해 이익을 최대화하는 Rework 제품 투입정책을 제안한다. 또한 Rework 작업으로 인해 주문 작업의 납기가 훼손하지 않도록 작업시간 사이의 여유시간을 이용하는 Rework 제품 투입계획을 제안한다.

2. 본론

2-1. 연구문제의 정의 및 분석

본 연구는 반도체 공장에서 가장 많은 Rework 제품이 발생하는 MBT 공정을 대상으로 한다. MBT 공정의 작업은 Lot 단위로 진행된다. 최대 Lot 크기는 MBT Chamber에 투입할 수 있는 Board 개수와 하나의 Board에 삽입될 수 있는 제품수의 곱이다. 최소 Lot 크기의 제한은 없으나, 최대 Lot 크기의 80~90% 이하 Lot은 거의 진행되지 않는다.

MBT와 DC 공정의 설비는 동종 병렬기계로 구성된다. MBT 공정은 제품마다 서로 다른 MBT Board를 사용한다. 또한 DC Test 공정도 제품마다 다른 Test Contact Base와 Socket을 사용한다. 따라서 MBT와 DC Test 공정의 작업준비시간은 순서의 의존적이다.

MBT 공정의 Rework 작업은 1회에 한해서 진행된다. 1회 Rework후에 다시 발생한 설비오류로 인한 불량품은 폐기된다. 또한 Rework 제품은 정상 제품에 비해 수율이 낮다.

MBT 공정의 작업시간은 Lot 수량에 관계없이 제품이 동일하면 동일한 작업시간을 가진다. 따라서 Rework 작업은 여러 Lot에서 발생한 Rework 제품을 합하여 하나의 Lot으로 구성하여 진행된다. 하지만 Rework 제품을 일반제품의 Lot과 합하여 진행할 수는 없다. 일반 Lot에 Rework Lot을 합하면 MBT 이후의 Lot 추적이 불가능하기 때문이다.

Rework 작업을 진행하기 위해서는 최소 투입량 이상으로 모으는데 필요한 대기시간이 소요된다. 또한 작업을 용이하게 진행하기 위해 모여진 제품을 작업자가 Tray에 정리하는 시간이 필요하다. 따라서 MBT에서 Rework 작업의 총 소요 시간은 DC Test 공정과 MBT 공정의 작업시간의 합에 Rework Lot 구성시간, 투입 제품의 정리시간, MBT 공정에서 DC Test 공정으로의 이동시간을 합한 시간이다.

DC 공정의 작업시간은 30분/1Lot 내외로 MBT 공정의 Burn-in Test 시간인 3HR~72HR/1Lot에 비해 짧다. 또한 제품별로 작업시간의 차이가 거의 없고, MBT 설비에 비해 여유시간이 많아서 Rework 작업 진행시에 설비 선택의 제한을 거의 받지 않는다. 본 연구에서는 이러한 현실적 사항을 고려하여 Rework 작업시간 중 DC 공정의 작업시간을 MBT 공정의 Set-up 시간에 포함한다. 또한 DC 공정의 작업시간은 제품이 따라 다르지 않다고 가정한다.

이러한 MBT 공정의 문제에서 본 연구는 Rework 작업의 경제적 이익인 원가절감 이득에서

경제적 손실인 Rework 비용과 공정재고비용을 뺀 총이익을 최대화하는 투입정책을 제안한다.

$$\text{목적함수 : } \text{Max}(\sum(\text{제조원가절감이익} - (\text{Rework 대기제품재고비용} + \text{Rework비용})))$$

2-2. 알고리즘의 절차

MBT 공정에 투입되는 제품들은 납기에 따른 생산 일정이 계획되어 있다. Rework 작업으로 주문 제품의 생산 일정이 조정되면 추가로 계획변경 비용 및 납기훼손 비용이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 Rework 작업이 주문 제품의 작업의 납기를 훼손시키지 않게 설비의 여유시간에 Rework 작업을 진행하는 알고리즘을 제안한다.

Rework 제품과 투입수량을 결정하기 위해서 먼저 여유시간이 존재하는 설비를 찾고 다음 작업까지의 여유시간을 구한다. 여유시간의 크기가 결정되었으면 여유시간 동안 작업 가능한 Rework 제품이 얼마나 있는지 찾는다. 여유시간동안 작업 가능한 Rework 제품이 있으면 제품별로 작업준비 시간과 작업시간을 고려하여 여유시간에 투입될 수 있는 최대 Lot수를 구한다. 또한 MBT Chamber에 투입될 수 있는 Lot의 최대량과 최소량을 고려하여 투입가능 Lot별 수량을 결정한다. 수량이 결정되면 작업준비시간, 작업시간, 수량을 함께 고려한 제품별 실제 투입가능 Lot수를 구한다.

제품별로 실제로 투입할 수 있는 Lot수와 수량이 결정되면, 투입되었을 때의 이익과 손실을 계산한다. Rework 작업으로 인한 이익은 원가절감 이득이다. 또한 경제적 손실은 Rework 대기제품의 공정 재고비용과 Rework 비용이다.

계산된 총 이득과 손실의 합으로 우선적으로 Rework 작업 투입할 제품으로 선택한다. 총 이익이 최대인 제품을 여유기간의 Rework 작업에 할당하고 투입계획을 완료한다. 선택된 여유기간의 투입 계획이 완료되면 다음 여유기간을 찾고 위에서 설명한 알고리즘의 절차를 일정계획 완료시점까지 반복한다.

2-3. 용어의 정의

- n : MBT 공정의 설비
- m : MBT 공정의 제품
- $j(n, m)$: 설비 n 제품 m 인 일반제품의 작업
- $i(n, m)$: 설비 n 제품 m 인 Rework 제품의 작업
- $r_{j(n)}$: 설비 n 에서의 작업 j 의 투입가능 시간
- $C_{j(n)}$: 설비 n 에서의 작업 j 의 완료시간
- $p_{(m)}$: 제품 m 의 작업소요시간
- $R(t, n)$: 설비 n 의 시간 t 에서의 여유시간
- $A(m)_{R(t, n)}$: $R(t, n)$ 동안 Rework 가능한 제품 수
- $O_{i(m)_{R(t, n)}}$: $R(t, n)$ 동안 Rework 가능한 제품 m 의 작업 i 의 Lot 수량
- $O_{(m)_{R(t, n)}}$: $R(t, n)$ 동안 Rework 가능한 제품 m 의 Lot 수
- $O'_{(m)_{R(t, n)}}$: $R(t, n)$ 동안 Rework 가능한 제품 m 의 실제 투입 가능 Lot 수
- S_{mbt} : 설비 n 에서 일반작업 제품 l 진행 후에 Rework 제품 m 을 진행하기 위한 작업 준비시간
- $M(m)$: Rework 작업으로 생기는 제품 m 의 개별 Unit당 원가절감 이익
- $M(m)_{R(t, n)}$: $R(t, n)$ 동안 Rework 작업으로 생기는 제

$W(m)$: 품 m 의 원가절감 이익
 $W(m)_{R(t,n)}$: Rework 작업으로 생기는 제품 m 의 Batch(Lot)당 Rework 비용
 $Y(m)$: 제품 m 의 Rework Lot 예상수율
 $H(n,m)$: 설비 n 에서 투입 가능한 제품 m 의 최대 Lot 수량
 $L(n,m)$: 설비 n 서 투입 가능한 제품 m 의 최소 Lot 수량
 $h(m)$: 제품 m 의 Unit당 단위시간당 재고비용
 $h(m)_{R(t,n)}$: $R(t,n)$ 동안 제품 m 의 재고비용
 $h'(m)_{R(t,n)}$: $R(t,n)$ 동안 제품 m 의 Rework 작업으로 생기는 대기제품의 재고비용의 합
 $x(m)_{R(t,n)}$: $R(t,n)$ 동안 제품 m 의 Rework 작업으로 생기는 원가절감 이익, Rework 비용, 대기제품의 재고비용의 합
 $Q(t,m)$: 시간 t 까지 발생한 제품 m 의 Rework 작업 대기수량
 $Q(t,m)_{R(t,n)}$: $R(t,n)$ 동안 제품 m 을 Rework 했을 때 여유시간 후에 남는 제품 m 의 Rework 작업 대기수량

2-4. 여유시간에서 투입량 계산 알고리즘

작업이 종료된 설비의 여유시간은 다음 작업 시작 시간과 현재 작업의 종료 시간의 차로 구한다.

$$R(t,n) = r_{j+1(n)} - C_{j(n)} \quad (1)$$

여유시간의 크기가 정해지면 모여진 Rework 제품별로 작업준비시간과 작업시간을 고려하여 여유시간에 투입 가능한 제품의 종류를 결정한다. 설비 n 에서 해당 여유시간 동안 진행할 수 있는 제품이 없으면 다음 여유시간을 찾는다.

$R(t,n) \geq S_{nbm} + p_{i(n,m)}$ 이면 Rework 가능한 제품으로 m 을 선택. (2)

$R(t,n) < S_{nbm} + p_{i(n,m)}$ 이면 Rework 불가능 제품으로 m 을 선택. (3)

제품이 선택되면 제품별로 Rework을 위해 모여진 수량을 확인하고 작업준비 시간과 작업시간을 고려하여 Rework 가능한 Lot의 개수를 구한다. 또한 개별 Lot의 수량을 결정한다.

$$O_{i(m)_{R(t,n)}} = 1 + \text{down}((R(t,n) - (S_{nbm} + p_{i(n,m)})) / p_{i(n,m)}) \quad (4)$$

$i \leq O_{i(m)_{R(t,n)}}$ 이면서

$$Q(t,m)/H(n,m) \geq 1 \text{ 이면, } O_{i(m)_{R(t,n)}} = H(n,m) ; i < Q(t,m)/H(n,m) \quad (5)$$

$$O_{i(m)_{R(t,n)}} = Q(t,m) - (i-1) \times H(n,m) ; Q(t,m) - (i-1) \times H(n,m) \geq L(n,m) \quad (6)$$

$$O_{i(m)_{R(t,n)}} = 0 ; Q(t,m) - (i-1) \times H(n,m) < L(n,m) \quad (7)$$

$$Q(t,m)/H(n,m) < 1 \ \& \ Q(t,m)/L(n,m) \geq 1 \text{ 이면, } O_{i(m)_{R(t,n)}} = Q(t,m) - (i-1) \times H(n,m) ; i=1 \quad (8)$$

$$O_{i(m)_{R(t,n)}} = 0 ; i > 1 \quad (9)$$

$Q(t,m)/H(n,m) < 1 \ \& \ Q(t,m)/L(n,m) < 1$ 이면,

$$O_{i(m)_{R(t,n)}} = 0 \quad (10)$$

투입될 Lot별 수량이 결정되면 여유시간과 투입될 제품의 수량을 모두 고려하여 실제 Rework: 작업 가능한 Lot수를 구한다.

$$O'_{(m)_{R(t,n)}} = \text{Count}(O_{i(m)_{R(t,n)}}) ; O_{i(m)_{R(t,n)}} > 0 \quad (11)$$

2-5. 우선순위 계산 알고리즘

여유시간 동안 Rework을 진행할 때 예상되는 제품별 원가절감 이익, Rework 비용, 대기제품의 재고비용은 아래와 같이 구한다.

목적함수 : $\text{Max}(\sum_{\text{대기 제품}} \text{제조원가절감이익} - (\text{Rework: } \text{대기 제품 재고비용} + \text{Rework 비용}))$

$$= \text{Max} \sum_{T=1}^T (M(m)_{R(t,n)} - (h'(m)_{R(t,n)} + W(m)_{R(t,n)})) \quad (12)$$

$$x(m)_{R(t,n)} = M(m)_{R(t,n)} - (h'(m)_{R(t,n)} + W(m)_{R(t,n)}) ; m=1, 2, \dots, A(m)_{R(t,n)} \quad (13)$$

$$\text{제조원가절감이익} = \sum_{T=1}^T M(m)_{R(t,n)} \quad (14)$$

$$M(m)_{R(t,n)} = \sum_{i=1}^{O_{i(m)_{R(t,n)}}} O_{i(m)_{R(t,n)}} \times M(m) \times Y(m) ; m=1, 2, \dots, A(m)_{R(t,n)} \quad (15)$$

$$\text{Rework 대기제품의 재고비용} = \sum_{i=1}^T h'(m)_{R(t,n)} \quad (16)$$

$$Q(m)_{R(t,n)} = Q(t,m) - \sum_{i=1}^{O_{i(m)_{R(t,n)}}} O_{i(m)_{R(t,n)}} \quad (17)$$

$$h(m)_{R(t,n)} = Q(m)_{R(t,n)} \times h(m) \times R(t,n) \quad (18)$$

$$h'(m)_{R(t,n)} = \sum_{m=1}^{A(m)_{R(t,n)}} h(m)_{R(t,n)} ; m=1, 2, \dots, A(m)_{R(t,n)} \quad (19)$$

$$\text{Rework 비용} = \sum_{T=1}^T W(m)_{R(t,n)} \quad (20)$$

$$W(m)_{R(t,n)} = O'_{(m)_{R(t,n)}} \times W(m) ; m=1, 2, \dots, A(m)_{R(t,n)} \quad (21)$$

여유시간 동안 발생하는 이득에서 손실을 뺀 값의 합이 최대인 제품을 선택하여, 여유시간의 Rework 작업으로 할당한다. 선택된 여유시간의 Rework 투입계획이 완료되면, 다음 여유시간의 투입계획을 수립한다. 일정계획 완료시점까지 알고리즘의 절차를 반복해서 순차적으로 투입계획을 수립한다.

3. 수행도 평가

3-1. 비교대안 알고리즘

본 연구는 여유시간을 판단하고, Rework 투입에 따른 이익비용과 손실비용을 계산하여 Rework 투입정책을 제안하였다. 또한 제품의 가공시간과 작업준비시간까지 고려하였다. 하지만 지금까지 발표된 연구들 중에는 본 연구와 같은 환경과 정책을 가지는 연구는 없었다. 따라서 본 알고리즘의 효과를 검증하기 위하여 현재 MBT 공정에서 진행 중인 투입방법을 대안 알고리즘으로 설정하여 비교한다. 대안 알고리즘은 여유시간에 제품단가가 높은 제품과 재고수준이 높은 제품을 우선적으로 투입하는 정책이다.

일반작업의 일정계획은 FAB 공정에서 미리 수립된다. 따라서 확정된 일정계획 하에서 대안 알고리즘과 비교한다. 여유시간 및 Rework 발생량은 동일하고 투입 우선순위 결정은 각각의 투입정책에 따라 다른 알고리즘을 가진다.

본 연구에서 알고리즘을 성능을 비교하는 척도는 Rework을 통한 원가절감 이익을 Rework 비용과 재고 비용의 합에서 뺀 값으로 한다.

3-2. 실험의 설계 및 실험결과 분석

본 연구의 실험은 10개의 일정계획 하에서 동일한 조건을 가지고 모의실험을 하였다. 실험에 사용된 결정 모수들은 제품별 단가와 Rework 비용, 재고 비용이다. 또한 결정모수들을 변화시키면서 대안 알고리즘과 비교하였다. 알고리즘의 성능 비교는 동일한 일정계획 하에서 결정모수들을 변화시키면서 나온 결과 값의 평균값을 사용하였다.

본 연구에서 제시한 알고리즘은 C++를 이용하여 구현하였고, 펜티엄2.0GHz 컴퓨터에서 실험하였다.

표 1. 실험 결정모수 데이터

결정 모수	적용방법
제품별 단가	9.8, 10, 10.2
Rework 비용	300, 500, 800
재고 비용	0.3×10^{-6} , 0.5×10^{-6} , 0.7×10^{-6}

표 2. 투입정책에 따른 평균이익

실험 환경	Cost	재고량	Max
	우선정책	우선정책	Profit정책
동일 Cost	532,212	609,383	661,453
제조원가 변경	592,379	609,383	662,099
Rework비용 변경	532,212	609,383	661,335
재고비용 변경	532,213	609,383	661,452
원가+재고비용 변경	618,432	608,623	665,847

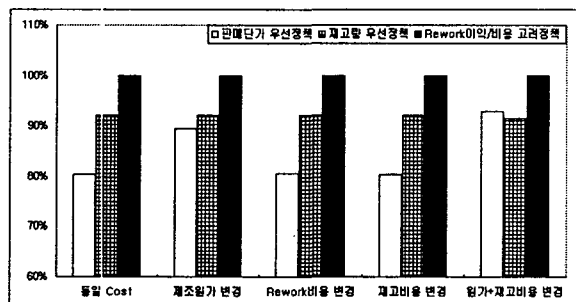


그림 1. 투입정책에 따른 평균 이익률 비교

표2, 그림1에서 보듯이 여러 실험환경에서 본 연구의 Max Profit 정책이 현재 MBT 공정의 작업 방법인 Cost 우선정책 및 재고량 우선정책에 비해 최소 10% 이상 좋은 성능을 가지고 있다. 또한 작업시간 사이의 정확한 여유시간과 투입량을 고려하였기 때문에 설비효율을 높일 수 있는 이점도 있다. 따라서 본 연구의 알고리즘은 현재 MBT 공정의 경험적 투입정책을 효율적으로 대체하여 적용할 수 있을 것이다.

4. 결론 및 추후연구

본 연구는 MBT 공정의 엔지니어링 경험을 바탕으로 Rework 투입정책을 제안하였다. Rework 제품의 발생률이 타 공정에 비해 현저히 높은 MBT 공정에 본 연구의 정책을 적용하면 Rework 작업을 보다 효율화 할 수 있으리라 생각된다.

MBT 공정은 생산능력이 한정되어 있기 때문에, 여유시간이 많지 않고, Rework으로 주문계획을 변경하는 경우가 많다. 따라서 주문 작업 계획의 변경을 고려한 투입정책 및 비용에 관한 추가연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Flapper, S.D.P. ; Fransoo, J. C. ; Broekmeulen, R. A. C. M. ; Inderfurth, K., "Planning and control of reworking in the process industries : a review", *Production planning & control*, v.13 no.1, 2002, pp.26-34
- [2] Flapper, S.D.P. ; Teunter, R.H., "Logistics planning of rework with deteriorating work-in-process", *International journal of production economics*, v.88 no.1, 2004, pp.51-59
- [3] Liu, J.J. ; Ping, Y., "Optimal lot-sizing in an imperfect production system with homogeneous reworkable jobs", *European journal of operational research*, v.91 no.3, 1996, pp.517-527
- [4] Hayek, P. A. ; Salameh, M. K., "Production lot sizing with the reworking of imperfect quality items produced", *Production planning & control*, v.12 no.6, 2001, pp.584-590
- [5] Jamal, A.M.M. ; Sarker, B.R. ; Mondal, S., "Optimal manufacturing batch size with rework process at a single-stage production system", *Computers & industrial engineering*, v.47 no.1, 2004, pp.77-89
- [6] Chiu, Y. P., "Determining the Optimal Lot Size for the Finite Production Model with Random Defective Rate, the Rework Process, and Backlogging", *Engineering optimization*, v.35 no.4, 2003, pp.427-438
- [7] H.Teunter, Ruud ; Flapper, Simme Douwe P., "Lot-sizing for a single-stage single-product production system with rework of perishable production defectives", *OR Spektrum : Organ der Deutschen Gesellschaft für Operations Research*, v.25 no.1, 2003, pp.85-96
- [8] Gopalan, M.N. ; Kannan, S., "Probability of first passage analysis of a two-stage transfer-line production system with storage and rework", *Microelectronics and reliability*, v.36 no.3, 1996, pp.403-407
- [9] Gopalan, M.N. ; Kannan, S., "Multi-type Rework in Two-stage Production Systems", *The International journal of quality & reliability management*, v.11 no.6, 1994, pp.38-49
- [10] Abdel-Malek, L. ; Asadathorn, N., "An analytical approach to process planning with rework option", *International journal of production economics*, v.46/47 no.COM, 1996, pp.511-520