

## 다항목 검사장비를 위한 COO 모형 연구†

손소영<sup>1\*</sup> · 문형욱<sup>1</sup> · 홍철기<sup>2</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 컴퓨터과학산업시스템공학과 / <sup>2</sup>LG 생산기술원

### Cost of Ownership Model for the Inspection Equipment of Multiple Quality Attributes

So Young Sohn<sup>1</sup> · Hyoung Uk Moon<sup>1</sup> · Cheol Kee Hong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Computer Science and Industrial Systems Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749

<sup>2</sup>LG-PRC, 19-1, Cheongho-Ri, Jinwuy-Myun, Pyungtaek-Si, Kyunggi-Do, 451-713

Procurement decisions for inspection equipment are often made heavily based on the initial purchase price instead of the effects of inspection cost, equipment calibration and utilization over the lifetime. Cost of ownership(COO) models that take into account all of these cost factors together have been developed focusing on a single quality characteristic. In modern manufacturing environment, inspection equipment often can deal with more than one quality characteristic simultaneously. In this paper, we propose the revised COO model for the economic evaluation of the inspection equipment that can accommodate multiple quality characteristics. We also employ an engineering economy model to compare equipments with different life span. Software is developed for handy comparison of the COO of alternative equipments along with sensitivity analysis for the optimal procurement decision.

**Keywords** : COO, inspection equipment, inspection error, engineering

#### 1. 서론

최근 급격한 기술발달과 요구 품질수준 향상으로 다항목 품질을 검사할 수 있는 고정밀도의 검사 장비들이 개발되고 있다. 첨단 검사 장비들은 고비용의 부담도 있지만 기술력이 떨어지는 검사장비나 작업자에 의한 목시 검사보다 생산자 위험(Type I Error)과 소비자 위험(Type II Error)이 적어 검사실패로 인한 품질비용을 줄일 수 있다. 이러한 tradeoff 관계를 고려한 다항목 검사장비의 비용산출 연구의 필요성이 대두됨에도 불구하고 현재까지 이루어진 연구의 주류는 단일 품질 특성치를 중심으로 한 Case Study 혹은 이상적인 검사정책의 조합 발견, 거시적 측면의 비용산출 평가 모형 개발로 일반 현장에서 쉽게 이용하기에는 거리가 있다(Dance, 1996; Viswanadham, 1996;

Evans, 1999).

본 연구의 주 목적은 검사장비 구매 또는 판매시 실제 현장 작업자들이 쉽게 이해하고 의사결정에 반영하도록 도와 줄 수 있는 다항목 검사장비의 비용산출 모형을 제안하는 데 있다. 새로운 검사장비의 도입은 공정라인에서 일반적으로 실행되고 있는 작업자에 의한 목시검사 또는 기존 검사장비의 기능을 개선할 수 있는 새로운 대안으로써 일반적인 투자 검토 항목과 측정 및 검사기술의 속성을 비용의 함수로 고려하여야 한다. 이를 위하여, 장비의 수명기간 동안 검사장비 성능과 품질비용의 상관관계를 고려한 Cost of Ownership(이하 COO) 모형을 다항목 검사장비를 위한 COO 모형으로 재정의하고자 한다. 본 연구에서 제시하는 수정된 COO 모형은 PDP(Plasma Display Panel)와 TFT-LCD(Thin Film Transistor - Liquid Crystal Display) 등 다항목 검사가 요구되는 새로운 FPD(Flat Panel

본 연구는 LG생산기술원 산학연구과제 연구비의 지원을 받아 수행되었음.

† 연락저자: 손소영 교수, 120-749 서울시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 컴퓨터과학산업시스템공학과, Fax : 82-2-364-7807, e-mail : sohns@yonsei.ac.kr

2001년 2월 접수, 3회 수정 후, 2001년 7월 게재 확정.

Display) 생산공정 검사시스템에 적용될 때 그 효과가 극대화 되리라 기대한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존연구의 고찰을 통해 본 연구와 기존연구의 차이점을 설명하고, 3장에서는 다항목 검사장비를 위한 수정 COO 모형을 제시한다. 4장에서는 시나리오를 통하여 제시된 COO모형을 검증하고, 5장에서는 민감도 분석결과를 기술한다. 끝으로 6장에서는 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

## 2. 기존연구

장비의 구매 의사결정은 일반적으로 장비의 신뢰성이나 활용도, 정확도에 따른 비용을 고려하는 것보다 초기 구매가격과 설치비용에 따라 결정되는 경향이 많다. 기술의 발전에 따라 장비의 초기 구매비용이 증가되면서 구매 의사결정에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

기존 문헌에서 고려된 검사시스템의 비용산출 연구를 일반 장비 연구와 더불어 살펴보면 다음과 같다.

새로운 검사장비 도입과 개선방안 결정시보다 나은 의사결정을 돕기 위한 연구와 관련하여 Evans (1999)는 검사시스템의 개선과 도입비용을 검토하기 위한 방안으로 검사시스템의 비용산출 모형을 제시하였다. 이 모형은 검사시스템 평가시 발생하는 여러 가지 정량화의 복잡성을 고려하고 단위별 비용(Cost Per Unit)을 구성하는 변수들을 설명하고 있으며 어떻게 구성 변수들이 서로 상호작용 하는지를 설명하는 비용산출 개념을 이용하고 있다. 이 연구는 다음의 3가지 기본 가정을 기준으로 단위별 비용을 나타내고 있다. 첫째, 검사비용의 비용산출 모형은 하나의 자동 검사장비에 따라 계산된다. 둘째, 모든 비용은 고정비이고 변동비용은 없다. 셋째, 간접비에는 감가상각비와 노동비가 포함되지 않는다. 위의 기본 가정을 바탕으로 도입여부 결정시 필요한 검사장비의 감가상각비, 노동비, 간접비, 검사시간, 작업자 표준시간, 검사사이트의 수 등의 주어진 변수들과 작업공정의 수율, 검사장비의 활용도 등을 고려하였다. 이를 통해 저자는 평가하고자 하는 양품 비용(Cost Per Good Unit), 활용 비용(Cost Per Utilized Second), 그리고 월별 양품생산 수(Good Units Per Month)를 산정하는 모형을 제시하였다. 논문에서 저자는 상황별로 시나리오를 변화시키며 검사시간과 감가상각비의 변화가 단위별 비용에 미치는 영향을 계산함으로써 구하고자 하는 검사시스템에 대한 비용산출을 하였지만 이러한 변화만을 통해 생산성 향상과 단위별 비용의 효율성을 보여 줌으로써 실제 검사공정에서 관심 있는 검사비용, 추출비용, 실패비용 등의 품질비용에 대한 비용산출을 충분히 설명하지 못한다. 이러한 점을 감안하여 적용하고자 하는 검사시스템에 대한 불량률, 검사장비의 정밀도에 따른 제품의 품질변화 관계를 설명하는 품질비용을 추가한다면 보다 현실적인 검사시스템의 비용산출 모형으로 이용될 수

있을 것이다.

Pabst(1989)는 반도체 공정라인에서 적재되고 있는 디바이스의 총비용 중 검사장비의 비용은 적은 부분을 차지하고 있음을 증명하기 위해 반도체 공정의 웨이퍼 분류작업 검사장비를 연구 비교하였다. 검사장비의 5년간 총운용비용 중 검사비용을 조사하여 비교 분석하면서 검사헤드 부분이 하나인 기존의 장비에 비해 초기비용은 많으나 운용 시간이 지날수록 디바이스별 검사공정 시간이 단축되고 검사비용이 줄어드는 검사헤드가 두 개인 검사장비가 경제적임을 전체비용에 대한 검사비용으로 설명하였다. 이 연구는 비용 절감에 민감한 기업은 장비의 사용기간 동안 생산성이 높은 검사장비를 도입하는 것이 실제 초기비용이 적게 드는 저정밀도의 검사장비를 도입하는 것보다 경제적으로 도움이 된다는 것을 실증적으로 보여 주는 조사 연구이다.

또한, Dorf and Hall(1988)은 20개의 미국 내 시장 기업들의 설문조사를 통해 자동검사장비의 도입이 기업의 이윤을 가져다 주고 있음을 조사 분석하였다. 이 조사를 통해 18개의 기업들이 ATE(Automatic Test Equipment)시스템을 이용해 경제적 절약과 품질 향상을 얻었다고 답변했으며, 실제 기업 환경이 다르고 품질 비용 절감에 대한 정량적 평가가 어려움에도 불구하고 검사장비 구매 비용 증가에 비해 검사 비용과 노동비의 감소는 전체 비용절감을 가지고 왔음을 증명하였다.

기술의 발전에 따라 제조장비의 비용이 증가되면서, SEMATECH은 1990년 반도체 웨이퍼의 제조장비에 대하여 COO 모형을 개발하게 되었다. 일반 제조장비 COO는 생산된 양품당 발생비용으로 정의되며 식 (1)과 같이 모형화하였다.

$$COO = \frac{CF + CV + CY}{TPT \times Y \times U} \quad (1)$$

COO : 양품당 발생비용, CF: 월간 고정비, CV: 월간 변동비  
CY: 월간 수율 손실비용, TPT: 월간 생산량, Y: 생산 수율,  
U: 활용도

Dance(1996)는 식 (1)을 바탕으로 반도체 웨이퍼 제작공정에서 검사장비를 위한 COO 모형을 개발하였다. 그가 제안한 검사장비의 COO에는 일반 제조장비에서 고려되어야 하는 장비 구입 및 운영비 이외에 검사의 영향으로 생기는 품질비용 손실을 고려한 비용이 포함되었다. 이 모형은 웨이퍼 제작공정에서의 공정 제품이 검사장비를 통한 검사결과에 따라 영향 받고 있음을 감안하였다. 그리고 생산과 검사가 연속으로 이루어지는 반도체 웨이퍼 제작공정의 특징을 고려하여 COO를 검사된 유닛 하나당 발생 비용으로 정의하였다.

이러한 Dance의 COO 모형은 반도체 웨이퍼 제작공정에서 단일 검사항목에 대한 적용과 반도체 웨이퍼 제작공정상의 수율만을 고려하고 있다. 이는 실제 현장에서 자주 접하게 되는 다항목에 대한 적용과 검사공정의 잠재적인 고장이나 오류로 인한 유닛 손실을 고려한 검사 수율에 대한 언급이 부족하다.

이러한 문제들을 해결하기 위해, 본 연구에서는 다항목 검사 장비의 항목별 성과와 검사 수율을 고려하고 품질 비용과의 상관관계를 반영한 비용 산출 모형으로 식 (1)의 COO 모형 구성 요소들을 재정의하고자 한다.

### 3. 다항목 검사장비 COO 모형

본 연구에서 다항목 검사장비의 비용산출을 위한 COO 모형을 제시하기 위해 고려한 생산공정 검사시스템은 <그림 1>과 같다.

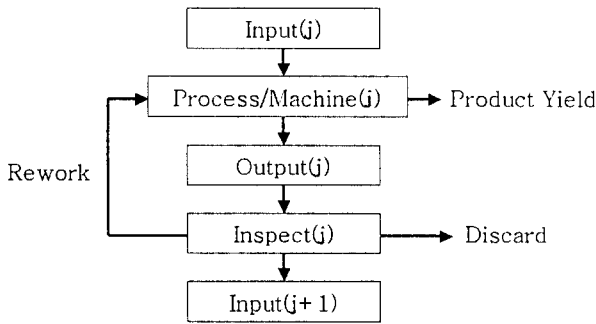


그림 1. 생산공정 검사시스템라인.

모형에서 사용된 가정은 다음과 같다.

1. 공정라인에서 한단계의 제조공정과 검사단계만을 고려한다.
2. 모든 제품은 K개의 검사항목 관점에서 전수 검사된다.
3. 검사된 제품은 양품과 불량품으로 구별되어 양품은 다음 공정단계 혹은 소비자에게 전달되며 불량품은 제품의 상태에 따라 재작업 혹은 폐기된다.
4. 각각의 품질 특성치는 *USL* (Upper Specification Limit)만을 고려할 때, *LSL* (Lower Specification Limit)만을 고려할 때, 그리고 *USL*, *LSL*을 함께 고려할 때로 구분된다.
5. 검사에는 생산자 위험(Type I Error)과 소비자 위험(Type II Error)의 두 가지 오류가 있다.

<그림 1>에서 가정한 생산공정의 검사위치 *j*에서 재정의된 검사장비 COO 구성 변수들 그리고 현금흐름(Cash Flow)을 추정하는 방법은 아래와 같다.

#### 3.1 고정비 산출(CF)

연간 고정비는 정액법과 정률법 중 분석자가 택일하여 구한 감가상각비로 추정할 수 있다. 신장비의 초기 구매 가격, 이송 비용, 설치 비용, 기존장비의 이송 및 제거 비용 등의 비용 합과 판매 후 이익으로 발생하는 기존장비의 장부상 잔존가치 등을 뺀 전체 고정비(*Total Fixed Cost*)를 구하면 다음과 같다.

$$Total\ Fixed\ Cost = Equipment\ Cost + Transportation\ Cost + Installation\ Cost + Moves\ and\ Rearrangements\ Cost + Otehr\ Cost \quad (2)$$

구해진 전체 고정비를 이용하여 정액법과 정률법을 선택하고 연간 감가상각비를 추정한다. 이때 신장비의 경우는 투자 세액공제가 적용되고 투자세액이 공제된 값으로 각각의 감가상각비를 추정한다. 또한, 판매 후 이익으로 발생하는 기존장비의 장부상 잔존가치에 대하여 법인세를 적용한다. 감가상각비는 회계 장부 가액이므로 현금흐름에서는 실제 발생비용을 채취하지는 않는다.

·정액법이 적용된 경우의 연간 감가상각비 산출

$$Depreciation = \frac{Total\ Fixed\ Cost}{Depreciation\ Life} \quad (3)$$

·정률법이 적용된 경우의 연간 고정비 산출

정률법이 적용된 경우는 먼저 고정비와 관련된 모든 비용들의 합과 잔존가치를 이용하여 감가상각 기간 동안의 감가상각률을 구하고, 그 값을 이용 감가상각 기간 동안의 감가상각액을 추정한다.

$$Depreciation\ Rate = 1 - \left( \frac{Salvage\ Cost}{Total\ Fixed\ Cost} \right)^{1/Depreciation\ Life} \quad (4)$$

$$Depreciation\ Cost_t = Depreciation\ Rate \times (1 - Depreciation\ Rate)^{t-1} \times Total\ Fixed\ Cost \quad (5)$$

$t = (1, 2, \dots, Depreciation\ Life)$

연간 고정비는 식 (3)과 식 (5) 중 분석자가 원하는 값으로 선택된다.

#### 3.2 변동비 산출(CV)

변동비는 전기 사용료 등과 같은 보조 운영비, 보전, 수리시 교체되는 소모품 비, 그리고 노동 비 등 검사장비를 수명기간 동안 운영하는 데 드는 비용을 의미한다. 이러한 변동비는 고정비와 같이 변동비와 관련된 모든 비용들의 합인 전체 변동비(*Total Variable Cost*)를 식 (6)과 같이 구하고 이를 이용하여 연간 평균 변동비를 구한다.

$$Total\ Variable\ Cost = (Electricity + \dots + Expensed\ Equipment + \dots) + \{SIHW \times Number\ of\ Operators \times Operator\ Cost + (SM + UM) \times Engineer\ Cost\} \times 12 \quad (6)$$

*SIHW*: 주중 계획 검사 시간, *SIHM*: 월중 계획 검사 시간( $4 \times SIHW$ )  
*SM*: 월중 계획 보전 시간, *UM*: 월중 비계획 보전 시간

위에서 구한 변동비와 관련된 전체 변동비에 검사장비 수명기간 동안의 인플레이션을 고려하여 매년간 변동비를 추정한다.

$$CV_i = \text{Total Variable Cost} \times (1+r)^{i-1} \quad (7)$$

$i = (1, 2, \dots, n: \text{Life of Equipment}), r = \text{Interest Rate}$

### 3.3 검사 오차 비용 산출(CY)

검사장비 COO의 추정시 고려되어야 할 검사장비의 정확도에 의한 비용 추정은 양품을 불량품으로 잘못 판단할 검사장비의 생산자 위험(Type I Error)과 불량품을 양품으로 잘못 판단할 검사장비의 소비자 위험(Type II Error)으로 야기되는 비용을 고려하여 구한다. 각각의 검사항목에 대한 검사장비의 생산자 위험률( $\alpha_k$ )과 소비자 위험률( $\beta_k$ )은 USL만을 고려할 때, LSL만을 고려할 때, 그리고 USL, LSL을 동시에 고려할 때로 구별한다.

다항목 검사장비의 경우 각 검사항목  $k$ 에 대한 USL $_k$ 과 LSL $_k$ 이 주어질 때 공정의 품질 특성치( $x_k$ )가 평균  $\mu_k$ 와 편차  $\sigma_k$ 인 확률분포를  $f_k(x)$ 를 따르고 검사장비의 측정오차( $y_k$ )가 평균이  $\delta_k$ 이고 검사장비의 측정오차 편차가  $\sigma_{Mk}$ 인 확률분포  $G_k(y)$ 를 따르면 검사장비의 생산자 위험률( $\alpha_k$ )과 소비자 위험률( $\beta_k$ )은 아래의 세 가지 방법에 의하여 구해진다.

(1) USL만을 고려할 때의  $\alpha_k, \beta_k$

$$\begin{aligned} \alpha_k &= \Pr[X_k + Y_k > USL_k, X_k \leq USL_k] \\ &= \int_{-\infty}^{USL_k} \left[ 1 - \Phi\left(\frac{USL_k - x_k + \delta_k}{\sigma_{Mk}}\right) \right] f_k(x) dx \\ \beta_k &= \Pr[X_k + Y_k < USL_k, X_k > USL_k] \end{aligned} \quad (8)$$

(2) LSL만을 고려할 때의  $\alpha_k, \beta_k$

$$\begin{aligned} \alpha_k &= \Pr[X_k + Y_k \leq LSL_k, X_k > LSL_k] \\ &= \int_{LSL_k}^{\infty} \Phi\left(\frac{LSL_k - x_k + \delta_k}{\sigma_{Mk}}\right) f_k(x) dx \\ \beta_k &= \Pr[X_k + Y_k > LSL_k, X_k \leq LSL_k] \end{aligned} \quad (9)$$

(3) USL, LSL을 동시에 고려할 때의  $\alpha_k, \beta_k$

$$\begin{aligned} \alpha_k &= \Pr[X_k + Y_k > USL_k, LSL_k < X_k \leq USL_k] \\ &\quad + \Pr[X_k + Y_k > LSL_k, LSL_k < X_k \leq USL_k] \\ &= \int_{LSL_k}^{USL_k} \left[ 1 - \Phi\left(\frac{USL_k - x_k + \delta_k}{\sigma_{Mk}}\right) \right] f_k(x) dx \\ &\quad + \int_{LSL_k}^{USL_k} \Phi\left(\frac{LSL_k - x_k + \delta_k}{\sigma_{Mk}}\right) f_k(x) dx \\ \beta_k &= \Pr[LSL_k < X_k + Y_k \leq USL_k, X_k < LSL_k] \\ &\quad + \Pr[LSL_k < X_k + Y_k \leq USL_k, X_k > USL_k] \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} &= \int_{-\infty}^{LSL_k} \left[ \Phi\left(\frac{USL_k - x_k + \delta_k}{\sigma_{Mk}}\right) - \Phi\left(\frac{LSL_k - x_k + \delta_k}{\sigma_{Mk}}\right) \right] f_k(x) dx \\ &\quad + \int_{USL_k}^{\infty} \left[ \Phi\left(\frac{USL_k - x_k + \delta_k}{\sigma_{Mk}}\right) - \Phi\left(\frac{LSL_k - x_k + \delta_k}{\sigma_{Mk}}\right) \right] f_k(x) dx \end{aligned}$$

검사 항목  $k$ 에 대한 각각의  $\alpha_k$ 와  $\beta_k$ 를 이용하여 식 (11)과 같이 전체 검사장비의 생산자 위험률( $\alpha_T$ ), 소비자 위험률( $\beta_T$ )을 구한다. 그리고 구해진  $\alpha_T, \beta_T$ 를 이용하여 전체 검사 오차 비용을 추정한다.

$$\begin{aligned} \alpha_T &= \Pr[\text{All characteristics good, At least one test failed}] \\ &= \Pr[\text{All characteristics good}] \\ &\quad - \Pr[\text{All characteristics good, All tests passed}] \\ &= \prod_{k=1}^K \pi_k - \prod_{k=1}^K (1 - \alpha_k) \\ \beta_T &= \Pr[\text{At least one characteristic bad, All tests passed}] \\ &= \Pr[\text{All passed}] \\ &\quad - \Pr[\text{All characteristics good, All tests passed}] \\ &= \prod_{k=1}^K ((1 - \alpha_k) + \beta_k) - \prod_{k=1}^K (1 - \alpha_k) \end{aligned} \quad (11)$$

$\pi_k$ 가 검사 항목  $k$ 의 제품 수율일 때, 이는 각각의 규격 USL, LSL, 그리고 USL, LSL을 함께 고려할 때

$$\begin{aligned} \pi_k &= \int_{-\infty}^{USL_k} f_k(x) dx, \quad \pi_k = \int_{USL_k}^{\infty} f_k(x) dx, \\ \pi_k &= \int_{LSL_k}^{USL_k} f_k(x) dx \end{aligned}$$

로 각각 구해진다.

사기된 스티트오 이요치어 여가 거시 0키 비요오 시 (17)인 같이 구한다. 이때, 공정상의 전체 제품 수율  $p$ 는 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} CY_i &= TPT \times \left\{ \begin{array}{l} \alpha_T \times p \times Cm \\ + \beta_T \times (1-p) \times Cc \\ + (1-\beta_T) \times (1-p) \\ \times (Cr \times R + Cd \times (1-p)) \end{array} \right\} \times (1+r)^{i-1} \quad (12) \\ p &= \prod_{k=1}^K \pi_k \quad (13) \end{aligned}$$

$Cm$ : 불량 유닛 중 오류 판단된 유닛의 재작업 비용

$Cr$ : 불량 판정 유닛의 재작업 비용

$Cd$ : 불량 판정 유닛의 폐기 비용

$Cc$ : 외적 실패 비용(불량품이 고객에게 넘어갔을 경우 발생비용)

$R$ : 불량 판정 유닛의 재작업 비용

### 3.4 검사 수율(IY)

검사장비 COO의 추정시 고려되어야 할 검사 수율은 검사장

비가 투입되었거나 투입되지 되는 생산공정의 잠재적인 고장이나 오류로 인한 유닛 손실을 고려한 제품 수율과 검사장비의 정확도를 이용하여 구한다.

$$IY = (1 - a_T) \times p + \beta_T \times (1 - p) \quad (14)$$

### 3.5 검사 처리량(TPT)

연간 검사 처리량, 즉 연간 공정 단계를 거쳐 검사 단계로 들어 오는 모든 유닛을 검사장비가 단위 시간(년)당 검사할 수 있는 수를 구하기 위해 검사 처리율(TPT Rate)을 식 (15)와 같이 구한다. 이때의 검사 처리율은 초당 검사할 수 있는 유닛 수를 의미한다.

$$TPT \text{ Rate} = \frac{1}{I_p Y + I_f(1 - IY) + I_h + I_i} \quad (15)$$

$I_p$ : 평균 양품 검사 판정 시간,  $I_f$ : 평균 불량품 검사 판정 시간  
 $I_h$ : 검사 작업자 검사 가동 시간,  $I_i$ : 간접 필요 시간

구해진 검사 처리율을 이용하여 연간 검사 처리량을 구하면 다음과 같다.

$$TPT = TPT \text{ Rate} \times 60 \times 60 \times SIHM \times 12 \quad (16)$$

### 3.6 활용도(U)

연간 검사장비의 활용도는 전체 계획 작업시간 중에서 비검사시간을 뺀 값으로 구한다.

비검사시간이란 계획보전시간, 비계획 보전 시간, 대기시간, 그리고 검사를 위한 준비시간을 의미하며 검사장비의 특성에 따라 수정될 수 있다.

$$U = \left( 1 - \frac{SM + UM + ST + IQT}{SIHM + SM + UM + ST + IQT} \right) \quad (17)$$

$ST$ : 월별 대기시간,  $IQT$ : 월별 검사장비 검사시간

다음으로 본 논문에서는 재정된 6개의 구성 요소들을 식 (1)에 적용하여 연간  $COO_i (i=0, \dots, n)$ 를 구한다. 구해진 매년  $COO_i$ 의 NPV(Net Present Value)는 장비의 수명 기간  $n$ 동안 식 (18)과 같이  $COO(n)$ 로 더해진다.

$$COO(n) = COO_0 + \frac{COO_1}{(1+r)^1} + \frac{COO_2}{(1+r)^2} \dots + \frac{COO_n}{(1+r)^n} \quad (18)$$

검사장비의 내용연수에 차이가 있는 경우의 비교를 위해  $COO(n)$ 는 각 검사장비의 수명 끝 시점에 계속해서 동일한 투자를 한다고 가정하고 무한 반복 투자법을 이용하여  $COO(n, \infty)$

을 구한다.  $COO(n)$ 을 반복 횟수  $h$ 만큼 반복할 경우  $COO(n, h)$ 를 식 (19)와 같이 구할 수 있으므로 무한 반복 투자법을 이용하여  $COO(n, \infty)$ 는 식 (20)과 같이 구할 수 있다.

$$COO(n, h) = COO(n) + \frac{COO(n)}{(1+r)^n} + \frac{COO(n)}{(1+r)^{2n}} \dots + \frac{COO(n)}{(1+r)^{hn}} \quad (19)$$

$$COO(n, \infty) = COO(n) \left[ \frac{(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \quad (20)$$

## 4. 적용

위에서 열거한 수정 COO 모형을 생산공정 라인에 적용하면 다음과 같다. 사용한 소프트웨어는 MS office 2000 Excel이며 <표 1>, <표 2>와 같은 데이터를 이용하여 각 시스템의 현금흐름(Cash Flow)을 구한 후 NPV를 계산하여  $COO(n, \infty)$  구한다.

본 논문에서는 검사장비 구입시 흔히 볼 수 있는 두 가지 경우를 고려한다.

Case 1. 목시 검사자들로만 구성된 기존 검사시스템의  $COO(n, \infty)$ 에 대하여 신장비 검사시스템의  $COO(n, \infty)$ 를 비교

Case 2. 목시 검사자가 필요한 기존의 검사장비 시스템의  $COO(n, \infty)$ 에 대하여 신장비 검사시스템의  $COO(n, \infty)$ 를 비교

<표 1>에서는 네 가지 검사항목을 가지는 두 Case를 비교하기 위한 시나리오를 설명한다. 이때, Case 2와 같이 기존장비의 처분 등과 같은 익금이 발생하는 모든 경우 법인세를 적용하며 각 연도의 소득은 익금 총액에서 손금 총액을 공제하도록 한다(Lim,1999).

<표 1>에서 DIL은 네 가지 검사항목에 대하여 네 명의 작업자가 필요한 목시 검사 시스템을 나타내며, EE는 검사항목 X1의 경우 목시 검사자가 필요한 반자동 검사 시스템이다. Case 1과 Case 2 같은 검사장비 구입 의사결정은 기존의 검사 시스템인 DIL이나 EE를 네 가지 검사항목 모두를 전자동으로 검사하는 신장비 NE로 교체할 것이냐 하는 문제이다. 네 가지 검사항목에 대한 품질 특성치의 규격과 모수에 대한 정보는 <표 2>와 같다. 두 품질 특성치 X1과 X2는 LSL과 USL을 함께 고려하며 X3는 USL만을 고려하고 X4는 LSL만을 고려한다.

주어진 정보를 이용 다항목 검사장비의 비용산출을 위한 COO 모형의 결과 총액접근에 의해 무한 반복한 대안들은 각각 <표 3>과 같은  $COO(n, \infty)$ 를 갖는다.  $COO(n, \infty)$ 는 단위 시간당 검사장비를 이용 검사된 유닛당 발생비용이므로 적은 값을 가지는 경우가 좋은 대안이다. <표 3>에서 알 수 있듯이 Case 1뿐만 아니라 Case 2에서도 NE의 초기 구매가격이 EE에

표 1.  $COO(n, \infty)$  비교를 위한 시나리오

(DIL: 목시 검사 시스템, EE: 존장비, NE: 신장비)

	DIL	EE	NE	
기존장비의 장부상 잔존가치	—	20,000,000	—	Currency
기존장비의 시장가치	—	30,000,000	—	Currency
검사장비의 초기 구입가격	—	—	100,000,000	Currency
공급자로부터 공장으로의 이송비용	—	—	100,000	Currency
검사장비의 공장 설치비용	—	—	100,000	Currency
새 검사장비 설치를 위해 기존장비 철거비용	—	—	200,000	Currency
감가 상각 방법	—	Straight-line	Straight-line	
장비의 수명(기존장비는 남은 수명기간)	—	3	7	Years
장비의 감가상각기간(기존장비는 남은 감가상각 기간)	—	3	7	Years
검사장비 수명 기간동안 고려할 평균 이자율	0.1	0.1	0.1	
감가상각 종료시점의 잔존가치	—	5,000,000	10,000,000	Currency
장비의 수명기간 이후 실제 시장에서의 예상 판매가격	—	10,000,000	20,000,000	Currency
신장비 투자금액에 대한 투자세액 공제	—	—	0.05	
법인세율	0.4	0.4	0.4	
일년간 전기 사용료	—	200,000	200,000	Currency/Year
일년간 보전, 수리 교체 부품 비용	—	100,000	100,000	Currency/Year
주당 계획 검사 시간	42	42	42	Hours/Week
월중 주일 수	4	4	4	Weeks/Month
시간당 작업자 수당	4,000	4,000	4,000	Currency/Hour
작업자의 수	4	2	1	
시간당 보전, 수리 전문 기술자의 수당	5,000	5,000	5,000	Currency/Hour
유닛 재작업 고려 비용	0.7	0.7	0.7	
불량 유닛 중 오류판단 유닛 재작업 비용	20,000	20,000	20,000	Currency
유닛 재작업 비용	50,000	50,000	50,000	Currency
유닛 폐기 비용	65,000	65,000	65,000	Currency
외적 실패 비용	80,000	80,000	80,000	Currency
한롯트의 유닛 크기	100	100	100	Units/Lot
X1	$\delta_1$	2	2	1
	$\sigma_{M1}$	3	3	2
X2	$\delta_2$	4	3	1
	$\sigma_{M2}$	4	4	2
X3	$\delta_3$	3	3	1
	$\sigma_{M3}$	4	4	2
X4	$\delta_4$	2	1	1
	$\sigma_{M4}$	3	2	2
평균 양품 검사 시간	18	17	13	Second
평균 불량품 검사 시간	13	12	10	Second
평균 작업자 검사 판단 시간	9	10	10	Second
검사시 기타 필요 시간	10	10	10	Second
한달 동안의 계획보전 시간	—	5	4	Hours/Month
한달 동안의 비계획 보전 시간	—	5	4	Hours/Month
한달 동안의 대기 시간	—	6	5	Hours/Month
한달 동안 검사 조건 준비 시간	—	15	10	Hours/Month

표 2. 각 품질 특성치 규격과 모수

	X1	X2	X3	X4
USL	120	90	120	—
LSL	80	70	—	80
$\mu$	102	81	99	98
$\sigma$	8	2	2	1

표 3.  $COO(n, \infty)$ 의 결과

Case 1	$COO(n, \infty)$	Case 2	$COO(n, \infty)$
DIL	₩ 30,671.45	EE	₩ 29,087.95
NE	₩ 22,532.69	NE	₩ 21,786.21

비하여 약 세 배가 되더라도  $COO(n, \infty)$ 를 산출하면 EE에 비하여 경제적이므로 대체하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

### 5. 민감도 분석

본 장에서는 앞에서 언급한 다항목 검사장비  $COO(n, \infty)$ 에 영향을 미치는 중요 요인들의 민감도를 분석한다.  $\alpha_T, \beta_T, Cr, Cd$ , 그리고  $Cc$ 의 증가에 따른  $COO(n, \infty)$ 의 변화를 Case 2의 신장비  $COO(n, \infty)$  변화를 통해 비교 분석한다.

먼저, <표 4>에서  $\alpha_T$ 가 10% 증가함에 따라  $COO(n, \infty)$ 는 20% 증가하는 양의 상관관계를 보인다. 이는 검사장비의 성능을 결정짓는 중요한 요소 중 하나인  $\alpha_T$ 가 검사 오차 비용과 밀접한 연관관계가 있으며  $COO(n, \infty)$ 에 큰 영향을 미침을 보여 준다. 또한,  $\alpha_T$ 를 일정 수준까지 낮출 수 있다면 검사수율을 향상시켜  $COO(n, \infty)$ 를 낮출 수 있다. 이를 통해 알 수 있듯이 생산자나 구매자 모두 성능이 높은( $\alpha_T$ 가 낮은) 검사장비를 생산 혹은 구매하여 장비의  $COO(n, \infty)$ 를 낮추는 것이 합리적이다.

이와 같이  $\beta_T, Cr, Cd$ , 그리고  $Cc$ 가 각각 10% 증가함에 따른  $COO(n, \infty)$ 가 각각 7%, 10%, 5.7%, 그리고 0.3% 증가하고 있음을 보인다. <그림 2>는  $\alpha_T, \beta_T$ 의 증가에 따른  $COO(n, \infty)$

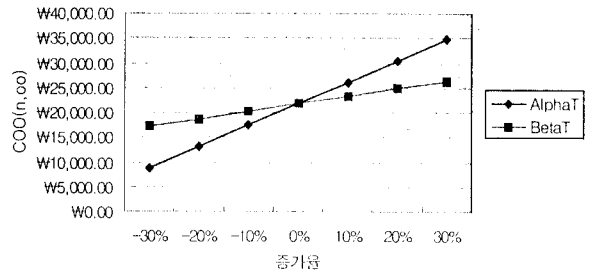


그림 2.  $\alpha_T, \beta_T$ 에 따른  $COO(n, \infty)$ 의 변화량.

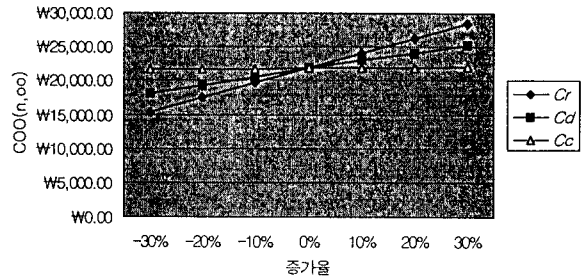


그림 3.  $Cr, Cd, Cc$ 에 따른  $COO(n, \infty)$ 의 변화량.

의 변화량을, <그림 3>은  $Cr, Cd, Cc$ 의 증가에 따른  $COO(n, \infty)$ 의 변화량을 설명한다.

### 6. 결론

최근 첨단 검사장비들은 고비용의 부담도 있지만 기술력이 떨어지는 검사장비나 작업자에 의한 목시 검사보다 생산자 위험과 소비자 위험이 적어 검사 실패로 인한 품질 비용을 줄일 수 있다. 이러한 상관 관계를 고려한 다항목 검사장비의 비용 산출 연구의 필요성이 대두됨에 따라 본 논문에서는 실제 현장에서 검사장비의 경제성을 쉽게 이해하고 평가할 수 있는 간이 평가용 비용 산출 모형으로 수정된 COO 모형을 제안하였다. 또한, 현장에서 자주 접할 수 있는 시나리오 적용을 통해 기존의 목시 검사자들뿐만 구성된 검사시스템과 반자동 검사시스템보다 총액접근에 의해 무한 반복한  $COO(n, \infty)$ 가 낮은 전자동 신장비 검사시스템이 우수한 대안임을 보였다. 실제

표 4. 요인 증가에 따른  $COO(n, \infty)$ 의 변화량

증가율	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%
$\alpha_T$	₩ 8,714.48	₩ 13,071.73	₩ 17,428.97	₩ 21,786.21	₩ 26,143.45	₩ 30,500.69	₩ 34,857.94
$\beta_T$	₩ 17,211.11	₩ 18,736.14	₩ 20,261.18	₩ 21,786.21	₩ 23,311.24	₩ 24,836.28	₩ 26,361.31
$Cr$	₩ 15,250.35	₩ 17,428.97	₩ 19,607.59	₩ 21,786.21	₩ 23,964.83	₩ 26,143.45	₩ 28,322.07
$Cd$	₩ 18,060.77	₩ 19,302.57	₩ 20,544.40	₩ 21,786.21	₩ 23,028.02	₩ 24,051.98	₩ 25,293.79
$Cc$	₩ 21,590.14	₩ 21,655.50	₩ 21,720.85	₩ 21,786.21	₩ 21,851.57	₩ 21,916.93	₩ 21,982.29

생산라인에서 검사 항목의 다양화에 따른 품질비용의 차이를 비용화하기에는 상당히 어려움이 있으나 제시한 모형에서는 각 검사항목의 정확도 차이에 의한 품질비용 손실액을 계산하였다. 또한, 민감도 분석을 통해 전체 생산자 위험, 전체 소비자 위험, 재작업 비용, 폐기 비용, 그리고 외적 실패 비용 등 검사장비의 수명기간 동안 검사수율, 검사 오차 비용 등과 깊은 상관관계로 인해  $COX(n, \infty)$ 에 많은 영향을 미치는 요인들의 영향 정도를 보였다. 특히, 검사장비의 정확도에 따라 발생하는 검사 오차 손실 비용의 경우 검사장비의 검사 정확도와 초기비용의 함수관계가 추가적으로 정의된다면 각 검사 항목별로 어느 수준의 검사정확도가 경제성을 가지는지 검사항목별 최적 검사 정확도를 선정할 수 있을 것이다. 이러한 검사항목별 최적 검사정확도 선정문제는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms)과 같은 메타 휴리스틱 기법으로 해결할 수 있을 것이라 예상되므로 향후 연구과제로 남겨둔다.

생산자와 구매자 모두 장비의 생산 및 구매 의사결정시 제시된 모형은 이익측면  $COX$  구성 요인들이 상관관계로 고려함으로써 보다 객관적인 입장에서 경제성을 평가할 수 있을 것이라 기대한다. 또한 기존의 비용 산출 연구가 많이 진행되었던 반도체 산업 이외에도 최근 디스플레이 산업의 성장으로 급속히 발전하고 있는 PDP(Plasma Display Panel)와 TFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) 등 다항목 검사가 요구되는 새로운 FPD(Flat Panel Display) 생산공정의 검사시스템에 적용되면 기대효과를 크게 얻을 수 있을 것이라 사료된다.

## 참고문헌

- Lim, S. Y (1999), *Tax Law*, Sang Kyoung Sa, Seoul, Korea.
- Carnes, R. and Su, M. (1991), Long Term Cost of Ownership: Beyond Purchase Price, *IEEE/SEMI Int'l Semiconductor Manufacturing Science Symposium*, 39-43.
- Chao, L., Dance, D. and Difloria, T. (1995), Get a Handle on Your Cost of Test, *Test & Measurement World*, 45-50.
- Dance, D. L. (1996), Modeling the Cost of Ownership of Assembly and Inspection, *IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology-Part.*, **19**(1), 57-60.
- Ding, J., Greenberg, B. S. and Matsuo, H. (1998), Repetitive Testing Strategies When the Testing Process Is Imperfect, *Management Science*, **44**(10), 1367-1378.
- Dorf, R. C. and Hall, T. (1988), The Benefits of Using ATE Systems in The Testing of Printed Circuit Boards, *International Test Conference*, 25-29.
- Evans, A. C. (1999), Applications of Semiconductor Test Economics and Multisite Testing to Lower Cost of Test, *ITC International Test Conference*, 113-123.
- Pabst, J. S. (1989), Cost Impacts of Automatic Test Equipment Purchase Decisions, *International Test Conference*, 605-610.
- Technicon Analytic Research (1998), Metrology-Related Costs in the U.S. Semiconductor Industry, 1990, 1996 and 2001, *NIST 98-4 Planning Report*.
- Tomlinson, W., Samek, M., Shiffler, B., Gudmundsson, D., Merritt, J. and Nurani, R. K. (1999), Cost Effective Reticle Quality Management Strategies in Wafer Fabs, *IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, 254-258.
- Viswanadham, N., Shashi, M., Sharma and Taneja, M. (1996), Inspection Allocation in Manufacturing Systems Using Stochastic Search Techniques, *IEEE Transactions on systems*, **26**(2), 222-230.