

☒ 응용논문

설비 예방보전을 위한 소프트웨어 개발 -Development of Software for the Preventive Maintenance-

이 장원 *

Lee, Jang Won

김 원중 **

Kim, Won Joong

ABSTRACT

In these days, we are facing the needs of the times that the product have to be converted from quantity to quality. Most companys now pay more attention to maximize efficiency of facilities with introducing high priced equipments, those equipments are too automated and electronic that partial failure or short time stop leads to the stop of producing process in the whole factory. Consequently, effective maintenance management of production equipment becomes a only solution against problems.

This thesis develops a preventive maintenance software that grasp a failure sign through daily inspection with management item, Machine-Capability index and estimate a trend, determine the time of preventive maintenance. The software is useful to the plant operator in analyzing information easily and controlling preventive maintenance operations efficiently.

1. 서론

현재, 우리기업은 노동력에 의존하는 생산시스템에서는 기업의 전체목표를 달성할 수가 없기 때문에 공장자동화(Factory Automation), 로봇, 컴퓨터 통합 생산시스템(Computer Intergrated Manufacturing), 유연생산제조 시스템(Flexible Manufacturing Systems)등이 새로운 자본 또는 기술 집약적인 생산방식으로 전환하여 설비생산성을 향상시킴으로 인하여 생산성(productivity)향상, 품질(quality)향상, 원가(cost)절감, 납기(delivery date)준수, 안전(safety) 사고예방을 함으로서 기업의 경쟁력을 극대화 시키는 실정에 와 있다 하겠다. 그러나 이와같은 상황하에서는 FA(Factory Automation), 로봇, CIM(Computer Integrated Manufacturing)시스템의 정당성을 확보하기 위해서는 그 비용을 상쇄 시킬 수 있는 시스템의 문제가 대두 되는데 이에 대한 해결방안으로는 설비의 효율을 최대한으로 높이는 것이라 할 수 있다. 또한, 저성장기에 접어드는 시점에서 생산이 양에서 질로 전환하여야 하는 시대적요청에 직면해 있는 오늘날, 기업들은 기존설비와 고가장비를 도입하여 설비의 효율 극대화에 많은 관심을 집중하고

*대우자동차 생산기술기술연구소

**아주대학교 산업공학과 교수

있는데, 설비는 대부분 자동화·전자화되어 생산설비의 부분적고장이나 미소정지가 공장전체의 조업중단까지 초래하게 되어 결과적으로 설비의 예방보전 관리가 이러한 문제해결의 관건으로 대두 되었다.

적절한 시기에 예방보전 활동을 행함으로써 설비의 생산성을 높이고 제품단위당 생산 원가를 절감 시키며 설비 분석에 대한 공학적 지식이나 경험이 없는 현장 작업자라도 예방보전에 대한 의사결정과 분석을 편리하게 수행할 수 있는 소프트웨어를 개발하려는 것이 본 논문의 목적이다. 설비는 조업시간이 경과됨에 따라 노후화 또는 열화로 인하여 생산활동의 휴지손실과 제품의 불량으로 생산원가에 영향을 미치고 생산능률이 저하하기 때문에 열화의 진도를 가급적 느리게 하여 설비를 경제적, 효율적으로 활용토록하는 보전활동이 필요한데 본 연구에서는 보전활동 중에서 설비가 고장을 일으킨 후에 보전을 수행하는 사후보전은 크게 문제가 되지 않으므로 연구대상에서 제외하고 예정한 시기에 점검 및 시험, 급유, 분해정비, 조정, 부분품 갱신등을 통하여 이상을 조기 발견하고 설비의 성능을 표준이상으로 유지 하고자 하는 예방보전관리를 대상으로 하였다.

본 연구에서는 설비들의 일상점검에 있어서 설비능력 지수로 고장징후를 파악하고 관측된 자료를 바탕으로 하여 추세를 추정 했으며 이로부터 예방보전 시기를 결정 하였다. 예방보전 비용의 결정 모형은 예방보전시 투입되는 직접비용과 예방보전 실시중 생산중단으로 인한 손실비용, 노후화에서 오는 불량발생 손실비용을 합한 총비용을 고려하였다. 예방보전은 마모고장기에 실시하며 그 기간동안의 열화곡선은 선형으로 증가한다고 가정한다.

2. 예방보전 절차에 관한 이론적 고찰

2.1. 설비의 일상 점검

특정 설비로부터 생산되는 제품의 성능을 가장 잘 평가할 수 있는 특성치의 평균 μ 와 표준편차 σ 를 모르는 경우, 각각 \bar{x} 와 s 로 이들을 추정하게 된다. 따라서 설비가 형성하고 있는 공정으로부터 생산되는 제품의 특성치들의 변동을 정량화시키는 것은 제조 공정으로부터 생산되어지는 제품의 품질에 대하여 이해하는데 있어서 기본적인 것이라 할 수 있을 것이다. 공정의 능력(Process Capability)은 사람(Man), 설비(Machine), 원자재(Material), 방법(Method)의 4M에 관한 능력으로써 평가되는 것으로 알려져 있다.[16]

이들중 설비의 능력은 장치산업이나 조립산업에 있어서 특히, 설비능력 혹은 기계능력(machine capability)라 불리우는데, 이때의 기계능력은 기계에 한정하지 않고, 장치 및 일반의 설비를 포함한 것을 말함은 물론이다. 근대적 공업에 있어서의 기계나 장치의 사용은 본질적인 것이기 때문에, 이들의 공정에 대한 기여의 정도는 다른 요인에 비교하여 매우 크므로, 공정능력은 기계능력으로 대응되기도 한다.[16] 설비능력은 특정 설비로부터 생산되는 제품의 특성치에 대한 안정성의 척도이다. 즉, 어떠한 제조공정을 이루고있는 설비의 변동이라는 것은 그 설비로부터 생산되어지는 제품들의 균질성에 대한 척도인 것이다. 그러므로 설비능력에 대한 분석은 설비가 얼마나 정밀하게 제품을 생산해 낼수 있는가에 관련된 공학적인 추정이나 평가라 할 수 있을 것이다. 여러가지 상황에서 설비능력 지수는 단측과 양측 공차를 포함하는 공학적인 규격인 공정 파라미터 μ 와 σ 에 연관되어 사용될 수 있으며, 공정자체나 설비의 평가에서 사용되어질 수 있다.[1]

본 논문에서는 설비능력의 척도로서 C_m [2], C_{pk} 가 고려되어 졌다. C_m 은 설비로부터 생산되어지는 제품 특성치의 분포가 6σ 내에 분포하는가에 대한 단순한 척도로서 특성치의 평균이 규격의 중앙에 위치하는 경우에 대해서는 고려하지 못한다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 특성치의 평균이 규격의 중앙에 어느정도 밀접히 근접해 있는가를 측정

하는 Cpk지수를 사용하게 된다. 그러나 Cm이나 Cpk의 계산은 특성치들의 값이 정규분포를 따른다는 가정하에서 수행되는 것이므로 정규성의 검증에 대한 절차가 필요하다.

2.2 정규성의 검증

평균과 분산을 모르는 경우의 정규성 판단은 단지 정규분포에서만 평균과 분산이 독립적으로 분포한다는 사실에 근거한 Lin과 Mudholkar에 의하여 제안된 방법[3]에 의하여 테스트될 수 있다. 즉 어떠한 표본이 정규분포를 따르는 모집단으로부터 추출되었다면 표본평균 \bar{x} 와 표본분산 s 은 독립이기 때문에, 표본평균과 표본분산이 독립임을 검증함으로써 정규성을 검증해 낼 수 있는 것이다. Lin과 Mudholkar는 크기가 n 인 표본에서 본래의 n 개의 관측치중 한개의 관측치를 누락시킨 표본들로부터 얻어지는 n 개의 평균과 이에 대응되는 분산으로써 모집단에 대한 표본평균과 표본분산 사이의 독립성에 대한 정도를 추정할 수 있음을 입증하였다. 또한 독립성의 척도로써, 상관계수 γ 를 사용할 수 있다. 이때 γ 는 2변량정규분포(bivariate normal distribution)의 독립성 검증에 적합한 것이기 때문에, 이를 정규분포에 근사시키기 위하여 n 개의 분산에 대한 Wilson과 Hilterty의 세제곱근 변환(cube root transformation)이 사용되어졌다.[6]

그러나 2변량정규 모집단으로부터 추출된 모집단이라도 γ 가 비정규(non-normal)이기 때문에 실제의 검정은 Fisher의 Z변환,

$$Z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}$$

에 의하여 수행되며, 만약 $|Z|$ 값이 기준치보다 크면 정규성을 기각하게 된다. 이때 위의 Z변환값의 분포는 중앙점 0에 대하여 대칭이며 정규분포에 비하여 양쪽이 다소 얇은 분포를 이룬다. 이 분포의 분산 σ_n^2 과 첨도(Kurtosis) γ_n 에 대한 추정은 Weighted regression 분석[9]을 통하여

$$\begin{aligned} \sigma_n^2 &= 3/n - 7.324/n^2 + 53.005/n^3 \\ \gamma_n &= -11.7/n + 55.06/n^2 \end{aligned}$$

이 된다.

그리하여

$$P(|Z| > C) \approx 2 - 2\{\Phi(C/\sigma_n) - (1/24)\gamma_n[(C/\sigma_n)^3 - 3(C/\sigma_n)]\varphi(C/\sigma_n)\}$$

단, Φ 는 표준 정규분포 함수,
 φ 는 확률 밀도함수

의 관계가 성립한다.

이로부터 표본평균과 표본분산의 세제곱근간의 상관계수 γ 과 유의수준(Descriptive level of significance)을 계산할 수 있다.[5]

2.3. 설비의 예방보전 시기 결정

설비의 예방보전 방침을 수립할 때 고려하여야 할 사항으로는 설비의 고장특성, 보전 활동에 소요되는 시간, 보전에 소요되는 비용과 고장손실로 볼 수 있다. 예방보전은 고장 발생률이 높은 기간에 다시말해 평균수명을 전후하는 시기에 가장 효과적이며 예방보전비와 고장손실을 비교할 때 고장손실이 크면 예방보전을 실시하는 것이 유리하다. 그러므로 예방보전의 실시구간은 총비용을 최소로 정하여야 한다. 예방보전을 실시할 때 총비용

을 최소로 하기 위해서는 다음과 같은 방법으로 분석 판단할 수 있다. 예방보전을 실시하여도 설비의 고장을 완전히 막을 수는 없다. 따라서 고장손실을 계산하여 포함시켜야 한다. 일반적으로 n개월마다 예방보전활동을 실시한다면, 각 n개월간의 고장설비수는 다음과 같다.

$$B_n = N(P_1 + P_2 + \dots + P_n) + B_1P_{n-1} + B_2P_{n-2} + \dots + B_{n-1}P_1$$

B_n : 예방보전 실시기간별(n) 고장발생횟수
 N : 설비나 기계의 수
 P_n : 예방보전 실시기간별 고장발생확률

n개월간의 고장보전수와 단위고장손실비를 곱하면 n개월간의 고장손실을 구할 수 있다. 즉, n개월간의 고장손실은 다음과 같다.

$$Kf(n) = R_f \times B_n$$

$Kf(n)$ = n개월간의 고장손실, R_f = 단위 고장 손실비

한편, 예방보전비 K_p 는 설비대당 보전비가 R_p 원이 소요된다고 하면 다음과 같다.

$$K_p = R_p \times N$$

따라서 n개월마다 예방보전을 실시한다고 하면 총비용은 다음과 같다.

$$K = Kf(n) + K_p = (R_f \times B_n) + (R_p \times N)$$

모든 n기간에 대하여 $\frac{R_f B_n + R_p N}{n}$ 을 계산하여 그값이 최소가 되는 n 이 최적 구간이 된다.

본 연구에서는 최적예방보전 활동 시기를 결정하기 위해서는 소요되는 총비용함수로서 가장 적절한 예방보전 활동시기를 구하고자 한다. 예방활동시 소요되는 총비용(Total cost)은 예방보전시 소요된 직접비용(PMDC)과 예방보전활동중 생산중단으로 발생하는 생산중단비용, (POC), 그리고 제품의 불량품 생산으로 인해 발생하는 손실비용(SC)을 합한 비용으로 다음과 같다.

$$TPMC = [F_{TMDC}(x(n)) + F_{POC}(x(n)) + F_{SC}(x(n))]$$

이와같은 함수를 이용하여 총비용 TPMC를 최소화하는 보전수준 x(n)을 찾고자하는 것이다.

① 예방보전에 사용되는 직접비용(PMDC)

설비의 예방보전 활동수준에 대한 예방보전에 소요되는 직접비용은 기업에서 이미 보유하고 있는 자체적인 정비인력을 활용하여 해결함으로써 예방보전 노무비(경비포함)는 고려하지 않으며 예방보전시 소요되는 재료비만을 고려하기로 한다. 그러므로 1회 예방보전시 소요되는 직접비용은 1회 보전시 소요되는 재료비이다. 여기서 총비용 함수의 기본단위를 통일하기 위하여 생산품의 단위당 보전 비용으로 환산하려면, 1회 예방보전에 사용되는 직접비용은 1회 예방보전에 소요되는 재료비를 1회 생산능력으로 나누어 구하면 된다. 이상을 함수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$F_{PMDC}(x(n)) = \frac{(MC) \cdot n}{x(n) \cdot P}$$

단, PMDC : 예방보전시 직접비용

MC : 예방보전시 소요되는 재료비, P : 1회 생산능력

x(n) : 보전수준, n : 예방보전수리시기

따라서 예방보전에 사용되는 직접비용은 보전주기가 길어짐에 따라 감소현상을 나타내게 되므로 예방보전에 소요되는 직접비용은 예방보전 주기를 짧게 할수록 크게 증가하며, 반면에

주기를 길게 잡을수록 비용은 급격히 감소하게 된다. 그러나 n이 증가하면 직접비용은 절감되겠지만 설비의 열화로 인한 불량발생, 설비고장발생이 많아져 적정수준의 주기를 정해서 예방보전활동을 실시하여야 생산원가를 절감할 수 있게 된다.

② 예방보전실시중 생산중단으로 인한 손실비용(POC)

예방보전을 실시하게 되면 발생하는 생산중단 실시비용을 요소비용으로 분석하면 생산을 중단함으로써 발생하는 판매기회 손실비와 생산중단으로 인한 유휴노무비를 구분할 수 있다. 1회 예방보전시 생산중단으로 인하여 발생하는 손실비용은 판매기회손실비와 유휴노무비를 합하여 구할수 있으며, 제품단가가 없는 것으로 전체에서 언급한 바 있으므로 예방보전기간에 단위당 판매이익손실을 곱한 금액을 1회 예방보전시 판매기회 손실비로 산정하고 유휴노무비도 예방보전 기간에 단위당 노무비를 곱하여 구할 수 있다. 이 관계의 함수식은 다음과 같다.

$$F_{POC}(x(n)) = \frac{m \cdot n(SBC + LBC)}{x(n) \cdot p}$$

단, m : 예방보전활동기간, n : 예방보전수리주기
 SBC : 판매기회 손실, LBC : 유휴노무비
 x(n) : 보전수준, P : 1회 생산능력

위 함수식을 비용과 보전주기에 관한 그래프로 나타내면 예방보전 직접비용과 같이 보전주기가 길어질수록 보전비용이 감소하는 완만한 곡선을 그리게 된다. 즉, 생산중지 비용은 보전주기와 반비례한다.

③ 불량발생 손실비용(SC)

설비를 계속 가동하게 되면 설비의 열화현상은 불가피하게 되며 그에 따라 설비성능 저하로 인한 불량발생 현상이 나타나게 된다. 이와 같은 불량률은 과거의 실적을 바탕으로 확정이 가능하며 여기에서는 예방보전실시 주기별로 불량률을 추정하기 위하여 각각의 예방보전실시 전까지의 누적 생산량으로 나눈값을 모불량률로 추정한다. 즉, 예방보전 주기가 n일때의 모불량률 P(n)은 다음과 같다.

$$P(n) = \frac{\sum_{i=1}^n PQ_i}{\sum_{i=1}^n PO_i} \quad PQ_i = \text{기간 } i \text{의 불량량} \quad PO_i = \text{기간 } i \text{의 생산량}$$

위의 식과 같이 예방보전 실시 간격별 불량률을 추정하였을때 이에 따른 불량손실비용을 추정하여야 하는데 그러기 위해서는 아래의 불량발생에 따른 관련 비용요소를 고려하여야 한다.

◆ 재생이 가능할때

- 불량발생으로 인한 판매기회 손실비
- 불량품에 대한 재생 노무비 : 유휴노무비와 동일하다.
- 재생경비
- 재생에 따른 감손비 : 원자재의 단위당 원가 × 재생감량비율

◆ 재생이 불가능할때

· 품질저하 손실비 : 1등급과 2등급의 단위당 판매가의 차이(단, 불량품은 모두 2등급으로 간주)
 불량 손실비용의 산정은 상기 항목의 합에 예방보전 실시간 간격별 불량률을 곱함으로써 구할 수 있다. 이상을 함수식으로 나타내면 다음의 두식으로 표현될 수 있다.

$$Fsc(x(n)) = \frac{P(n) \cdot (SBC + RLC + RMC + RDC)}{P}$$

$$Fsc(x(n)) = \frac{P(n) \cdot (QLC)}{P}$$

- 단, P(n) : 예방보전 주기가 n일때의 모불량률 , SBC : 판매기회 손실비
 RLC : 재생노무비 , RMC : 재생경비
 RDC : 재생산 감손비 , QLC : 품질저하 손실비
 P : 1회 생산량

여기서 P(n) 즉, 예방보전 주기가 n일때의 모불량률은 예방보전주기가 증가하면 서서히 증가하다가 점차 급격히 증가한다는 것이 통상의 개념이듯이 불량손실비용 곡선(Bath Tub Curve)은 최초에는 서서히 증가하나 점차 급격히 증가하는 형태를 나타낸다.

단위시간당 예방보전에 소요된 직접비용과 생산중단으로 인한 비용은 감소하고 불량품 생산으로 인하여 입계되는 손실비용은 증가한다. 따라서 이러한 비용의 합계가 최소가 되는 시기를 경제적 수리시기라고 볼 수 있다. 아무리 물리적으로는 조업이 계속될 수 있다고 하더라도 경제적으로 최소비용점까지 설비 열화가 도달되면 수리의 한계에 왔다고 보는 것이다. 그리하여 이 점을 수리한계점이라 한다. 수리한계를 지난 설비열화의 상태는 설비의 가동이 중지되지 않았더라도 고장으로 간주할 것이며, 이것은 예방보전의 중요한 개념이다.

3. 예방보전을 위한 소프트웨어의 개발

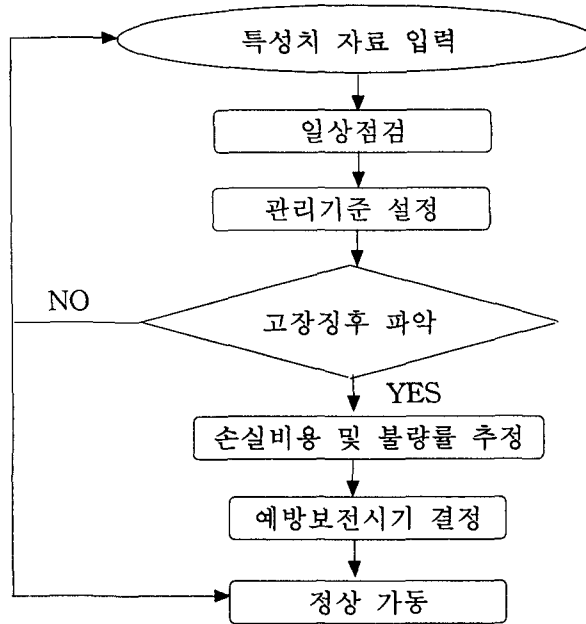
3.1. 전체적인 시스템의 흐름 및 알고리즘

본 연구에서 개발한 소프트웨어는 'C' 언어로 구축되었으며 이 소프트웨어를 구성하고 있는 주요 프로그램은 다음과 같다.

1. 예방보전에 대한 자료를 입력 시키는 프로그램
2. 입력된 자료를 통하여 설비능력 지수를 계산하는 프로그램
3. 입력된 자료를 통하여 불량수를 추정하는 프로그램
4. 입력된 자료를 통하여 설비의 예방보전시기를 결정하는 프로그램

1~5 의 과정을 통하여 현장 작업자가 직접 설비의 상태를 파악하여 정상적인 가동상태를 유지하기 위해 경제적인 보전시기를 결정하는 보전 시스템의 Flow Chart 가 <그림 3-1>에 나타나 있는데 이를 각 단계별로 구분하면 다음과 같다.

- 단계 1. 일상점검을 위해 특정 설비로부터 생산되어지는 제품의 규격, 강도, 경도 등과 같은 물리적 특성치에 관한 자료를 입력한다.
- 단계 2. 입력된 자료에 의해 계산된 Cm,Cpk 의 설비관리 항목으로 일상점검을 수행.
- 단계 3. 관리기준을 설정하여 마모에 의한 고장징후를 파악 한다.
- 단계 4. 실측된 자료를 근거로 회귀분석을 통하여 불량률 및 비용을 추정한다.
- 단계 5. 제시한 총비용 함수를 최소로 하는 예방보전 시기를 결정한다.
- 단계 6. 결정된 시기에 보전을 시행한다.
- 단계 7. 단계 1로 다시 피이드백 되어 반복된다.



<그림 3-1> 시스템 Flow Chart

3.2. 설비능력 지수의 계산 알고리즘

설비에 대한 일상점검을 설비능력지수 C_m 으로써 실시하였고 불량률 추정을 위한 자료를 관리하였다.

* 프로그램의 입력과 결과

본 프로그램의 작성에 사용된 입·출력 자료들과 그에 해당되는 변수들은 다음과 같다.

- 자료의 갯수 = ND
- 설비 특성치 = $X(i)$
- 특성치의 측정단위 = UM
- 하한 규격한계 = SL
- 상한 규격한계 = SU

위의 입력자료들에 대한 결과로써 입력치들의 평균치, 불편분산, 표준편차, 범위 등이 계산되어지며 dots 분포표가 작성되어지고, 설비능력지수 C_m 의 값에 따른 등급이 부여된다.

C_m 값에 따른 등급은

- $C_m \leq 1.00$ 인 경우는 D
- $1.00 < C_m \leq 1.33$ 인 경우는 C
- $1.33 < C_m \leq 1.67$ 인 경우는 B
- $1.67 \leq C_m$ 인 경우는 A 등급으로 부여하였다.

- 단계 1. 설비 특성에 따른 자료의 입력
특정 설비로부터 생산되어지는 제품의 규격, 강도, 경도 등과 같은 물리적 특성치에 대한 관리항목에 관한 자료를 입력한다.
- 단계 2. 입력 자료에 대한 정규성의 검증
단계 2에서 입력된 자료들로부터 그 특성치들이 정규분포를 따르는가를 검증한다. 정규분포가 아닐 경우 다음단계로 진행 불가(STOP)
- 단계 3. 상한규격과 하한규격의 결정
- 단계 4. dots수분포표의 작성
단계 2 - 4에서 입력된 자료를 근거로 dots수분포표를 작성한다.
- 단계 5. Cm과 Cpk의 계산
입력자료들을 근거로하여 설비능력 지수인 Cm 과 Cpk를 계산 한다.
- 단계 6. 설비능력에 대한 평가
계산되어진 설비능력 지수 Cm의 값이 속한 등급을 부여한다.

3.3. 예방보전 시기 결정을 위한 알고리즘

예방활동시 소요되는 총비용(Total cost)은 예방보전시 소요된 직접비용(PMDC)과 예방보전활동중 생산중단으로 발생하는 생산중단비용(POC) 그리고 제품의 불량품 생산으로 인해 입계되는 손실비용(SC)을 합한 비용으로 다음과 같다.

$$TPMC = [F_{TMDC}(x(n)) + F_{POC}(x(n)) + F_{SC}(x(n))]$$

위 함수를 이용하여 총비용 TPMC를 최소화하는 보전수준 x(n)을 찾고자하는 것이다.

* 프로그램의 입력과 결과

본 프로그램의 작성에 사용된 입·출력 자료들과 그에 해당되는 변수들은 다음과 같다.

예방보전시 소요되는 재료비	MC
예방보전 주기가 n일때의 모 불량률	P(n)
판매기회 손실비	SBC
유희노무비(재생노무비)	RLC
재생경비	RMC
재생산 감손비	RDC
품질저하 손실비	QLC
1회 생산량	P
보전기간별	x(n)
현재(임의)의 예방보전 수리주기	n
예방보전 활동기간	M
예방보전시 직접비용	PMDC
생산중단으로 인한 비용	POC
불량발생 손실 비용	SC
예방보전 총비용	TPMC

- 단계 1. 예방보전에 소요되는 자재를 파악하여 총재료비를 계산하고 1회 생산능력을 입력하여 보전기간별로 예방보전시 직접비용을 도출한다.
- 단계 2. 예방보전 활동기간에 생산의 중단으로 발생하는 비용을 보전기간별로 계산하여 도출한다. 여기에는 판매기회 손실비와 유희노무비가 포함된다.

- 단계 3. 불량이 발생하였을때 손실되는 비용을 보전기간별로 도출한다. 재생이 가능한 경우와 불가능한 경우의 두가지 경우를 고려할 수 있겠는데 가능한 경우에는 판매기회 손실비, 유희노무비, 재생경비, 재생산 감손비등이 포함되며 불가능한 경우에는 1등품과 2등품의 판매가의 차이인 품질저하 손실비로 구성된다.
- 단계 4. 보전기간별로 단계 1-3 에서 얻은 비용들을 합하여 예방보전 총비용을 도출한다.
- 단계 5. 최소비용을 선택하여 최적 보전 시기를 결정한다.

5. 예 제

SU : 75.05 SBC : 73500
 SL : 74.99 LBC : 8400
 P : 8 RMC : 45000
 MC : 852200 RDC ; 43500
 M : 3 RLC : 8400

75.019	75.016	75.013	75.022	75.027	75.016	74.985	75.021
75.029	75.033	75.023	75.016	75.022	75.026	75.051	75.021
75.023	75.019	75.029	75.023	75.03	75.022	74.985	74.986
75.022	75.024	75.024	75.019	75.017	75.023	75.051	75.052
75.016	75.022	75.027	75.027	75.023	75.029	75.051	74.993
75.026	75.022	75.026	75.017	75.017	75.019	75.01	75.025
75.018	75.017	75.013	75.027	75.033	75.043	75.017	75.017
75.017	75.022	75.023	75.022	75.024	75.017	75.03	75.018
75.025	75.018	75.004	75.026	75.022	75.015	75.016	75.023
75.023	75.019	75.029	75.023	75.03	75.022	74.985	74.986

STEP OF MEASUREMENT= .01 MEAN= 75.0213
 SUM OF SQUARES= 1.067954E-02 UNBIASED VARIANCE= 1.351841E-04
 STANDARD DEVIATION=.0116 MAX, MIN= 75.052 , 74.985
 RANGE= 6.700134E-02 INTERVAL OF CLASS= .02
 LOWER LIMIT OF CLASS= 74.985 INTERVAL OF CLASS= .01
 LOWER LIMIT OF CLASS= 74.98

NO.	CLASS	f	u	f*u	f*u*u	
1	74.980---74.990	74.985	3	-7	-21	147
2	74.990---75.000	74.995	1	-6	-6	36
3	75.000---75.010	75.005	2	-5	-10	50
4	75.010---75.020	75.01501	28	-4	-112	448
5	75.020---75.030	75.025	39	-3	-117	351
6	75.030---75.040	75.035	2	-2	-4	8
7	75.040---75.050	75.04501	1	-1	-1	1
8	75.050---75.060	75.055	4	0	0	0
TOTAL		80		-271	1041	

MEAN= 75.0211 STANDARD DEVIATION=.0125
 LOWER SPECIFICATION (0 FOR NONE) = 74.99
 UPPER SPECIFICATION (0 FOR NONE) = 75.05
 Cpk= .8215455 Cm= .8601512 Degree is D

PM estimate directed cost

```

=====
| period | P M D C | period | P M D C |
=====
| 1 | 3408800 | 2 | 1704400 |
| 3 | 1136266 | 4 | 852200 |
| 5 | 681760 | 6 | 568133 |

| 27 | 126251 | 28 | 121742 |
| 29 | 117544 | 30 | 113626 |
| 31 | 109961 | 32 | 106525 |
    
```

compute POC

```

=====
|period| S B C | L B C | P O C |
=====
| 1 | 7056000 | 806400 | 7862400 |
| 2 | 3528000 | 403200 | 3931200 |
| 3 | 2352000 | 268800 | 2620800 |

| 30 | 235200 | 26880 | 262080 |
| 31 | 227612 | 26012 | 253624 |
| 32 | 220500 | 25200 | 245700 |
    
```

compute FAIL COST

```

=====
| N | sp|got| sg| spq| p | spb | SBC | RLC | RMC | RDC |T_cost
=====
| 1 : 8: 0: 0: 0.0: 0.000: 0.000: 0: 0: 0: 0: 0|
| 2 : 16: 1: 1: 0.1: 0.000: 0.000: 0: 0: 0: 0: 0|
| 3 : 24: 1: 2: 0.2: 0.006: 0.006: 459: 52: 281: 271: 1063|

|30 :240: 10:162:16.2: 0.066: 1.048:76992: 8799:47138:45567:178496|
|31 :248: 11:173:17.3: 0.067: 1.115:81953: 9366:50175:48503:189997|
|32 :256: 11:184:18.4: 0.070: 1.185:87081: 9952:53314:51537:201884|
    
```

compute TPMC

```

=====
| N | PMDC | POC | SC | TPMC |
=====
| 1 : 3408800 : 7862400 : 0 : 11271200 |
| 2 : 1704400 : 3931200 : 0 : 5635600 |
| 3 : 1136266 : 2620800 : 1063 : 3758129 |
| 30 : 113626 : 262080 : 178496 : 554202 |
| 31 : 109961 : 253624 : 189997 : 553582 |
| 32 : 106525 : 245700 : 201884 : 554109 |
MINNUM VAL : 31 553582
    
```

4. 결 론

현대 산업사회의 급속한 진보는 생산설비의 대형화, 공정의 자동화를 가져 왔으며 이로 인해 설비의 성능은 향상되었다. 이러한 현상은 시스템의 신뢰도 유지 및 효율성에 대한 중요성을 부각시키고 있으며 이를 위한 해결방안으로는 여러가지가 있겠으나 가장 중심이 되는 활동은 설비의 예방보전이다.

본 연구에서는 설비능력 지수의 관리항목으로 일상점검을 하여 고장징후를 파악하고 관측된 자료를 바탕으로 하여 추세를 추정 하였으며 이로부터 비용을 고려한 예방보전 시기를 결정 하였다. 예방보전시 투입되는 직접비용과 예방보전 실시중 생산중단으로 인한 손실비용, 노후화에서 오는 불량발생 손실비용을 합한 총비용을 최소로 하는 시기에 예방보전 활동을 행함으로써 설비의 생산성을 높이고 제품단위당 생산원가를 절감 시킬 수 있게 하였다. 이러한 과정에 대하여, 설비 분석에 대한 공학적 지식이나 경험을 잘 알지 못하는 현장 작업자 사람이라도 예방보전에 대한 의사결정과 분석을 편리하게 수행할 수 있는 소프트웨어를 개발함으로써 설비관리에 적극적으로 참여할 수 있는 도구를 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] Elliott, I.G., " The Art of the Specification ", Process Engineer, 1986, pp. 76-77
- [2] Jerry Banks, J.P. Sporer, R. Lee Collins, IBM PC APPLICATION for the Industrial Engineer and Manager, A Reston Book Prentice-Hall, 1986, pp.402-410
- [3] Lin, C.C. & Mudholkar, G.S., " A Simple Test for Normality against a Symmetric Alternatives " , Biometrika, Vol.67, pp. 455-461
- [4] Nelson, L.S., " Combining Statistics from Two Groups & Some updating Calculations", Journal of Quality Technology, Vol.10, 1978, pp. 180-181
- [5] Nelson, L. S., " A Simple Test for normality ", Journal of Quality Technology, Vol.13, 1981, pp. 77-78.
- [6] J.H. Davis, "Maintenance Scheduling System", Industrial Engineering, 1975, pp.40-43
- [7] Barlow, R.E and Hunter, L.C, "Optimum Preventive Maintenance policies", Operations Research Vol.8, 1960. pp.90 -100
- [8] Canfield, R.V., "Cost Optimization of Periodic Preventive Maintenance", IEEE Transactions on Reliability, vol.35, 1986, pp. 78- 89
- [9] Barbava, B. Nelson, "Testing for Normality", Journal of Quality Technology, Vol.15, 1983, pp. 141-143
- [10] Brennan, J.R. and Burton, S.A., "Warranties: concept to implimentation", IEE 1989 Proceedings, Annual Reliability & Maintainability Symposium, 1989, pp. 24-26
- [11] J.G. Monks, Operations Management: Theory and Problem, McGraw-Hill, Inc., 1977, pp. 547-560
- [12] S. Nakajima, "The Organaization of Maintenance in Japanese Industry", Maintenance Management International, Vol.3, No.2, 1982, pp.87-88
- [13] J.A. Parsons, "Preventive Maintenance Policy Selection", Journal of Industrial Engineering, Vol.16, 1965, pp. 321

- [14] Park.Kyung Soo, "Gamma Approximation for Preventive Maintenance Scheduling", *AIE Transactions*, Vol.7, 1975, pp. 244-245
- [15] 박무준, "설비효율화를 위한 예방보전에 관한 연구", 동아대석사논문, 1990
- [16] 황의철, "최신품질관리", 박영사, 1988, pp. 434-435