

신뢰성 기반 정비를 위한 시뮬레이션 시스템 개발†

윤원영¹ · 손성민² · 김종운¹

¹부산대학교 산업공학과 / ²LG 전자

Development of a Simulation System for Reliability Centered Maintenance

Won-Young Yun¹ · Sung-Min Son² · Jong-Woon Kim¹

A simulation model is developed for planning maintenance, and it can be used in the procedure of Reliability-Centered Maintenance. System availability and the total cost of system operation are predicted by discrete event simulation. These two kinds of output are useful to determine the interval of preventive maintenance. This paper describes simulation logic, and focuses on modeling the maintenance effects and the relations of maintenance works. An example is described for illustrating the simulation model.

1. 서론

최근의 설비 및 제품은 고 기능화 및 다 기능화가 요구됨에 따라 많은 고가의 부품들로 구성되어 있다. 또한 안전과 환경적 요구가 크게 강조됨에 따라 설비의 지속적인 신뢰성의 보장에 대한 필요성이 증대되었다. 이러한 지속적인 신뢰성을 유지 및 보장하기 위한 방법 중 대표적인 것으로 정비의 수행을 들 수 있다. 정비 또는 보전이란 시스템을 사용 가능한 상태로 유지하기 위해 적절한 시기에 부품을 수리 또는 교환하는 것을 말한다. 이러한 정비 활동 중 고장의 발생을 막기 위해 고장이 일어나기 전에 수행하는 정비 활동을 예방정비라 하며 이것은 지속적인 신뢰성 유지를 위한 가장 중요한 정비 활동이 되었다. 예방정비는 미래에 일어날 수 있는 고장으로 인한 설비효율의 감소와 수리 또는 교체 그리고 설비 유희에 의한 비용의 발생을 방지할 수 있으나 예방정비의 수행은 예방정비 기간만큼 설비의 효율을 떨어뜨리며 이에 소요되는 부가적 비용이 발생된다. 따라서 적합한 대상에 대한 적절한 시기에 예방정비를 수행하는 것이 요구된다. 그러나 많은 부품으로 구성된 설비는 예방정비가 필요한 부분과 불필요한 부분을 구분하는 것이 어렵고 또한 예방정비의 주기를 선정하는 것이 까다롭다. 왜냐하면 한 부품의 예방정비는 다른 부품의 상태에 영향을 미치게 되기 때문에 각 부품별로 최적 예방정비 주기는 전체

설비적 측면에서는 상당히 비효율적인 정비가 될 수 있으며, 따라서 전체 설비의 효율과 총정비 비용면에서 우수한 결과값을 내는 각 부품의 예방정비 주기를 동시에 결정해야 하기 때문이다.

이와 같이 대규모 설비 또는 시스템의 합리적인 정비 정책 수립을 위한 방법론 중 그 효과가 우수한 것으로 보고된 것으로 '신뢰성 기반 정비'의 개념이 있다. '신뢰성 기반 정비'는 1960년대 말 미국 항공산업계에서 개발된 기법으로 1970년대에 미국방성에서의 신뢰성 기반 정비 도입 계기로 활성화되어 현재에는 전 세계에서 활용되어 그 효과의 우수성이 널리 알려진 기법으로, 시스템의 기능에 영향을 미치는 고장원인들에 효과적이면서 적용 가능한 예방정비 업무를 찾는 체계적인 방법론이다(Rausand, 1998).

따라서 '신뢰성 기반 정비' 기법이 효과적으로 적용된 여러 사례의 결과들은 기존에 수행했던 예방정비의 많은 부분들이 예방정비가 불필요하거나 비 효과적인 것으로 판단되어 제외되었고, 효과적인 예방정비들은 추가되어, 예방정비가 필요한 부분에 대해서만 효과적이고 적용 가능한 예방정비 업무가 수행되어 설비의 효율과 총비용 측면에서 좋은 결과를 가져왔다(Moubray, 1997; Smith, 1993).

그러나 기존의 신뢰도 기반 정비 기법은 각 정비 단위에 대해 어떤 정비 정책을 수행할 것인지를 결정하기 위한 정성적인 분석 절차를 제공하지만 정비 정책의 효율성을 평가하거나 예방정비 주기를 선정하기 위한 정량적인 분석에 대한 지원은

† 본 과제는 한국과학재단 목적기초연구(981-1016-086-1)에 의해 지원되었음.

부족한 실정이다.

따라서 신뢰성 기반 정비의 효과를 더 높이기 위해 예방정비 주기 선정에 대한 방법론이 필요한데 기존의 예방정비 주기 선정에 대한 수리적인 연구는 그 대상을 하나의 부품 또는 동일한 부품으로 이루어진 시스템 또는 몇 개의 부품으로 이루어진 시스템으로 그 대상이 국한되어 있기 때문에 이러한 이론 및 접근법을 신뢰성 기반 정비의 주 대상이 되는 대규모 설비에는 그 적용이 어려운 실정이다. 몇 편의 연구에서 대규모 시스템의 신뢰도 및 가용도를 구하기 위해 시뮬레이션 접근법이 연구되었으나 이들의 연구들은 최소 절단 집합을 사용자가 직접 입력해야 한다는 단점과 수리의 효과에 대한 모형이 완전수리만을 가정하며, 예방정비는 고려되지 않았다(Chrisman, 1998; Landers at, 1991; Vujosevic, 1987). 그리고 신뢰성 기반 정비 절차를 지원하는 소프트웨어가 몇 가지 존재하고 있으나 이것들은 정비 주기 선정하기 위한 정량적인 분석을 지원하지 않거나 지원하는 경우에는 너무 많은 수리적 근사화의 처리에 의해 각 부품들의 정비들의 결과가 상호 영향을 미치는 현상을 고려하지 못하는 단점을 가지고 있다(윤원영 등, 1998). 따라서 신뢰성 기반 정비 기법에 의해 선정된 예방정비 업무에 대해 최적 정비 주기를 선정에 위한 방법론에 대한 연구가 필요하며 본 연구에서 이를 위한 시뮬레이션 시스템을 개발하였다.

2. 시뮬레이션 시스템

본 연구에서 수행된 시뮬레이션의 목표는 선정된 정비 정책에 대해 설비 가용도 및 정비 비용을 예측하는 것이다. 어떤 부품을 대상으로 예방정비를 수행하며 어떤 부품을 대상으로 고장수리만을 수행할 것인지는 입력사항으로서 일반적으로 신뢰성 기반 정비의 개념 및 방법론을 통해 선정될 수 있다. 따라서

본 시뮬레이션 시스템은 신뢰성 기반 정비의 방법론에 의해 선정된 각 정비 단위(고장모드)들의 선정된 정비 업무에 대해 전체 시스템 또는 부품 가용도 및 총비용에 대한 예측값을 계산한다. 입력 요소들로는 크게 시스템의 계층구조와 예방정비가 있는 고장모드들은 예방정비 주기, 그리고 고장분포 정보 및 정비 및 수리의 효과(수명감소인자) 및 정비 비용에 관한 입력요소(고정비용, 시간에 비례한 비용)들이 있다. 시뮬레이션 출력값들로는 시스템의 가용도 및 총비용 그리고 각 부품의 소요량이 계산된다. 따라서 본 시뮬레이션을 통해 현 정비 정책(각 고장모드에 대한 예방정비 주기)에 대한 비용 및 가용도 측면에서의 효율의 평가와 각 예비품의 소요량을 예측할 수 있다. 이러한 시뮬레이션 수행을 위해 필요한 기본적인 가정들은 아래와 같다.

[가정]

- ① 전체 시스템의 구조는 직렬과 병렬로서 표현이 가능하다.
- ② 부품고장은 와이블 분포를 따르며, 분포의 모수는 알려져 있다.
- ③ 고장이 발생하면 즉시 발견 가능하다.
- ④ 가용한 예비품의 수는 무한하다.
- ⑤ 고장모드에 대하여 일정한 주기로 예방정비가 시행된다.
- ⑥ 고장모드의 수리 및 예방정비 후 부품의 수명감소는 수명감소인자의 비율에 의존한다.
- ⑦ 고장모드의 예방정비 동안에 부품은 고장상태가 된다.
- ⑧ 수리중인 부품에 도착하는 예방정비가 하나 이상일 경우에는 수명감소인자가 가장 큰 예방정비만 실시하며, 수리완료 시점에서 예방정비가 시작된다.
- ⑨ 정비원이 부족하면 정비원이 가용한 시점까지 기다렸다가 정비를 수행한다.
- ⑩ 부품이 유향한 동안에 부품수명은 그대로 유지된다.

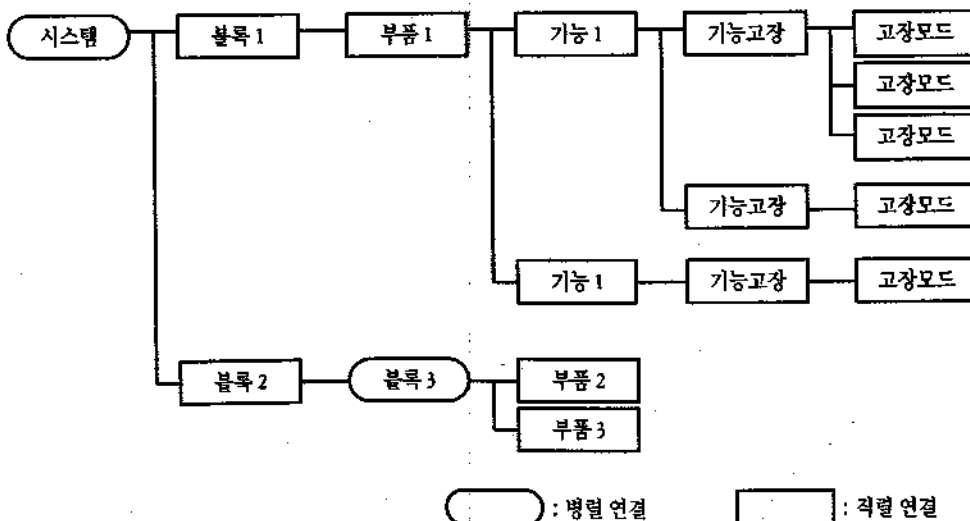


그림 1. 시스템 계층 구조도.

시스템의 기본 입력 사항인 계층 구조도는 상위 부품과 하위 부품 간의 논리적 계층 관계를 <그림 1>과 같이 시스템-블록-부품-기능-기능고장-고장모드의 순서로 분석하는데 상위단계에서 하위단계로 분석할 때 시스템에서 부품까지는 직렬, 병렬로 분석한다(일종의 Fault Tree Analysis 응용). 부품의 고장모드들은 모두 직렬의 형태로 구성된 것으로 가정한다.

<그림 1>의 예에서는 시스템의 블록 1과 블록 2가 병렬로 연결되어 있으며 블록 3은 부품 2와 부품 3이 병렬로 연결되어 있으며 나머지는 모두 직렬로 연결되어 있는 시스템을 표현하고 있다.

즉 분석 대상 시스템은 각 부품들이 직렬의 구조로 표현 가능한 것으로 가정하고 있다. 또한 각 블록 및 부품들은 중복 부품을 가질 수 있으며 다수의 고장모드를 가진다. 부품의 하위 블록인 기능과 기능고장들은 고장모드를 찾기 위한 중간 단계의 역할을 한다.

• 정비의 효과 모형

고장모드의 수리 및 예방정비 후 부품의 수명감소는 각각의 수명감소인자의 비율에 의존한다. 수리 가능한 시스템에 있어서 노후화란 고장과 수리가 반복되는 가운데 고장간 시간을 점차 감소하도록 만드는 요소이고 고장수리나 예방정비는 이를 억제하는 역할을 한다. 일반적으로 고장수리나 예방정비 후 대상 시스템이 놓여지게 되는 수명에 따라 최소수리, 완전수리, 불완전수리 등으로 분류된다(Murthy, 1991; Nakagawa, 1988; Nakagawa et al., 1987). 그러나 고장수리나 예방정비가 이루어진 후의 시스템수명은 대상부품의 정비효과에 따라 달라지므로 모든 고장자료에 완전수리 모형이나 최소수리 모형의 가정은 일반적이지 못하다. 따라서 본 논문에서는 고장수리나 예방정비 후 부품의 수명감소가 각 고장모드에서 정의된 수명감소인자의 비율만큼 감소하도록 보다 더 일반화하였다. 그리고 고장수리의 경우와 예방정비의 경우에 현재수명에 대한 수명감소비율을 각각 정의할 수 있도록 하였으며, 이러한 비율 또한 각 고장모드에 대하여 정의된다. 즉, 수리나 예방정비가 해당 부품수명을 일정한 비율로 감소시키는 효과를 갖는 것으로 이러한 감소비율을 수명감소인자라 한다.

• 부품고장 시점에 대한 난수 발생

와이블 분포를 따르는 부품의 고장시점은 역변환 방법에 의해 구하였다. 사용중인 부품에 대하여 임의의 한 시점에서 현재의 부품수명을 이용한 다음 고장 시점에서의 부품수명은 조건부 확률로서 계산된다. 이러한 상황에서 다음 고장 시점에서의 부품수명 T 는 와이블 분포를 이용하면,

$$F(t) = P(T \leq t | T > t_1) = \frac{P(t_1 < T \leq t)}{P(T > t_1)} = \frac{F(t) - F(t_1)}{1 - F(t_1)} \quad (1)$$

이고, 여기서 t_1 은 현재시점에서의 실제 부품수명, $F(t)$ 는 누적분포함수를 나타낸다. 식 (1)을 와이블 분포에 대해 역변환 방법으로 풀면,

$$T = \beta[(t_1/\beta)^\alpha - \ln U]^{1/\alpha} \quad (2)$$

가 된다. 식 (2)를 이용하여 현재의 부품수명에서 부품의 다음 고장 시점은 아래의 식 (3)과 같이 계산된다.

$$\text{다음 고장 시점} = \text{현재시점} + T - t_1 \quad (3)$$

3. 시뮬레이션 처리로직

다양한 운용환경에서의 전체 시스템에 대한 임무 수행과정을 시뮬레이션하기 위하여 이산사건 시뮬레이션 방법을 사용하였다. 시뮬레이션의 전체적인 처리로직은 일반적인 이산사건 시뮬레이션 방법과 유사하므로 이에 대한 설명은 생략하고 정비 업무를 고려할 때 발생하는 다양한 경우에 대한 처리 로직에 대하여 중점적으로 설명한다. 3.1절에서는 현 사건에 따른 소요 비용을 계산하여 연관된 블록의 총비용을 증가시키고 부품수명 변화와 다음 사건 발생 시점을 발생시키는 방법을 설명한다. 그리고 3.2절에서는 사건 발생에 따른 각 블록의 상태가 변화되는 과정과 유휴 및 고장시간을 계산하고, 3.3절에서는 두 가지 이상의 정비가 수행되는 경우의 처리에 대해서 다룬다. 정비와 고장 등의 모든 사건이 일어나는 대상은 고장모드이다. 상위 부품의 고장은 하위 고장모드의 고장에 의해서만 발생한다. 따라서 이후 기술하는 모든 사건의 발생 및 처리는 특별한 언급이 없을 때는 고장모드에 관한 것으로 한다.

3.1 비용계산 및 다음 사건 발생

3.2.1 각 블록의 비용 계산

현재 발생한 사건에 따라 소요비용을 계산하고 연관된 각 블록의 총비용을 증가시킨다. 이때 비용의 증가는 고장 또는 예방정비 사건일 경우에 발생하게 되며 이들의 정비 완료 시점이 설비생애를 넘어서면 정비는 이루어지지 않고 비용증가는 고장 발생에 따른 단위 시간당 변동 비용만 고려된다. 사건 발생시 초래되는 비용으로 고정비와 변동비로 나눌 수 있으며 각 요소는 아래와 같다.

- 고정비 - 예비품의 종류와 수에 비례하여 비용 발생
 - 정비원의 종류와 수에 비례한 고정비 발생
 - 기타 예방정비 또는 고장정비의 시작 시점에서 발생하는 고정비
- 변동비 - 정비원의 종류, 수, 정비 시간에 비례한 변동비 발생

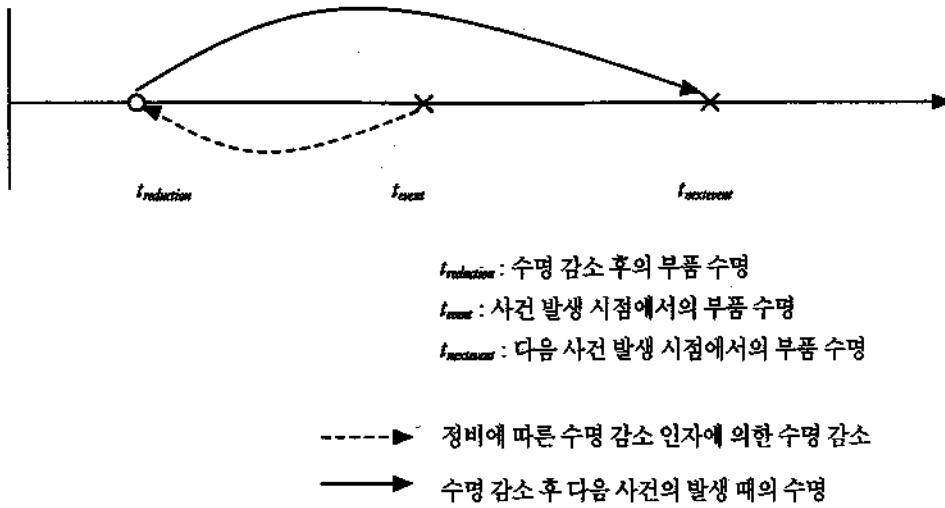


그림 2. 사건 발생에 따른 수명의 변화.

— 예방정비 또는 고장정비 시간에 비례한 변동비 발생

고정비는 사건의 발생 시점에서 추가되며 변동비는 사건의 완료(정비의 완료)시점에 추가된다.

3.2.2 수명 변화

고장 및 예방정비 사건이 발생하면 현 시점에서의 고장모드의 수명을 기록하고 고장수리 및 예방정비 완료 사건이 발생하면 수명감소인자를 사용하여 현재 수명을 감소시킨다. 각 사건 발생에 따른 수명 변화는 <그림 2>와 같다. t_{event} 는 고장 및 예방비 사건 발생 시점의 고장모드의 수명을 의미한다. 그리고 수명감소인자에 의한 수명감소는 고장수리 및 예방정비의 완료 시점에서 이루어지며 아래의 식 (4)에 의하여 계산된다.

$$t_{reduction} = t_{event} \times (1 - ARF_k) \quad (4)$$

ARF_k : 고장모드 k 의 수명감소인자

고장모드에 대하여 다음에 발생하는 사건이 고장이면 다음 사건 발생 시점에서의 부품 수명 $T_{nextevent}$ 는 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$T_{nextevent} = \beta_k \left[\left(\frac{t_{reduction}}{\beta_k} \right)^{\alpha_k} - \ln U \right]^{1/\alpha_k} \quad (5)$$

α_k, β_k : 고장모드 k 에 대한 와이블 모수

다음에 발생하는 사건이 예방정비이면 수명 $T_{nextevent}$ 는 아래의 식 (6)과 같이 된다.

$$T_{nextevent} = t_{reduction} + (TNOW - \text{현 고장모드의 수명감소가 이루어진 마지막 시점}) \quad (6)$$

만약 다음 사건이 고장이면 식 (5)의 $T_{nextevent}$ 가, 그리고 다음 사건이 예방정비이면 식 (6)의 $T_{nextevent}$ 가 다음 사건 발생 시점에서의 수명이 된다.

3.2.3 다음 사건 발생 시점 계산

각 사건의 발생 시점에서 현재 발생한 사건이 다시 발생하지 않도록 현 사건의 다음 발생 시점을 무한대로 둔다. 그리고 고장 및 예방정비 사건의 발생에 따라 각각의 완료 시점을 발생시키며, 예방정비를 하고 있는 동안 고장이 발생하지 않게 한다. 그리고 고장수리 완료 시점에서 다음 고장 시점을 발생시키고, 예방정비가 완료되는 시점에서 다음 고장 시점과 예방정비 시점을 동시에 발생시킨다. 각 사건의 발생에 따라 고려해야 할 다음 사건과 그 발생 시점은 아래의 경우 1, 2, 3, 4와 같다.

경우 1. 고장 사건 발생인 경우

- ① 다음 고장 시점을 무한대로 한다.
- ② 수리완료 시점을 발생시킨다.

$$\text{수리완료 시점} = TNOW + NT_k$$

(NT_k : 고장모드 k 의 현 사건에 대한 소요시간)

경우 2. 예방정비 사건 발생인 경우

- ① 고장 시점을 무한대로 한다.
- ② 예방정비 완료 시점을 발생시킨다.

$$\text{예방정비 완료 시점} = TNOW + NT_k$$

경우 3. 고장수리 완료사건 발생인 경우

- ① 수리완료 시점을 무한대로 한다.
- ② 수명감소가 이루어진 마지막 시점을 $TNOW$ 로 한다.

- ③ 식 (7)을 이용하여 부품의 다음 고장 시점을 발생시킨다.

$$\text{다음 고장 시점} = TNOW + (T_{nextevent} - t_{reduction})$$

경우 4. 예방정비 완료사건 발생인 경우

- ① 다음 예방정비 완료 시점을 무한대로 한다.
- ② 수명감소가 이루어진 마지막 시점을 $TNOW$ 로 한다.
- ③ 다음 고장 시점을 발생시킨다.

3.3 상태변경 및 통계량 계산

본 논문에서 정비의 대상이 되고 난수에 의한 고장 시점의 발생은 고장모드에 대해서 일어나지만 하위 고장모드의 상태에 따라 상위 시스템, 블록, 부품 등의 각 개체의 상태가 변화하게 된다. 여기서 개체라 함은 시스템부터 고장모드까지 전체 계층 구조의 각 단위를 뜻한다. 본 논문에서는 시스템내 각 개체의 상태를 가동, 유휴, 고장의 세 가지 상태로 분류하였으며, 이들 순서로 상태가 좋다고 처리한다. 유휴라 함은 해당 개체의 고장은 발생하지 않았으나 다른 개체의 고장으로 인해 작동이 되지 않는 상태를 말한다. 한 사건의 발생으로 인하여 상태변화가 이루어질 때 고려해야 할 통계량값은 <표 1>과 같다.

일반적으로 각 개체의 상태는 고장 또는 예방정비 사건 발생으로 인하여 상위 개체가 더 좋아지거나 수리완료 또는 예방정비 완료사건 발생으로 인하여 상위 개체가 더 나빠지는 경우는 없다. 또한 상위 개체가 가동 상태에 놓여 있는데 하위 개체의 상태가 유휴인 경우는 없으며, 상위 개체의 상태가 유휴 상태가 되면 하위 개체들 중 가동중인 개체는 유휴 상태로 변한다. 그리고 가동 상태에서 유휴 상태로의 변화는 상위 개체에 의해서 이루어진다. 이러한 경우에 하나의 사건이 발생

했을 때 각 개체들의 상태를 변화시키고 고장 시간과 유휴 시간을 계산한다. 그리고 고장모드가 유휴상태로 되면 고장모드의 고장은 발생하지 않고 유휴된 시간만큼 고장모드의 고장시간은 지연된다.

3.4 두 가지 이상의 정비가 수행되는 경우의 처리

모든 정비 업무는 각 고장모드에서 수행된다. 예방정비는 일정한 주기로 정해진 시점에서 수행되고 고장수리는 각 고장모드의 고장 발생시 발생하므로 그 시점은 랜덤하게 발생된다. 따라서 하나의 정비 업무가 수행되고 있는 도중에 다른 하나의 정비 업무의 요청이 들어올 수 있다. 본 논문에서는 예방정비의 수행 도중 고장수리가 발생할 수도 있고 고장수리 도중 예방정비 업무가 발생할 수 있다. 또한 드물기는 하지만 예방정비 업무 도중 다시 예방정비가 요청될 수도 있다. 이런 상황이 발생하는 경우는 다음과 같다.

- 고장수리 도중 예방정비 업무가 발생하는 경우 : 랜덤하게 고장모드의 고장이 발생하므로 고장수리가 끝나기 전 미리 정해진 예방정비가 계획된 경우
- 예방정비의 지연 중 고장수리가 발생하는 경우 : 예방정비가 계획되었으나 정비원이 부족할 경우 이 정비는 대상 정비원이 다른 정비 업무를 끝낼 때까지 기다리고 이 고장모드는 계속 가동된다. 이때 고장모드의 고장에 의해 고장수리가 요청되는 경우
- 예방정비의 수행 도중 예방정비가 발생하는 경우 : 예방정비 업무가 계획되었으나 정비원이 부족하여 정비원이 가용할 때의 시점까지 정비가 지연되는데 이때 그 다음 번 계획된 예방정비 업무의 시작 시점이 정비완료 시점보다 빠른 경우

표 1. 상태 변화에 따라 고려해야 할 통계량

현상태 / 이전상태	가동	유휴	고장
가동		· 유휴시점 기록 · 고장모드의 고장 시점 연기	· 고장 시점 기록
유휴	· 총유휴시간 증가 · 고장모드 고장 시점 발생		· 총유휴시간 증가 · 고장 시점 기록
고장	· 총고장시간 증가 · 부품의 수명 감소가 이루어진 마지막 시점 기록		

위의 세 가지 경우에 두 가지 이상의 정비 업무가 요청되는데 이때 본 시스템에서는 각 경우에 대해서 다음과 같이 처리한다.

- 고장수리 도중 예방정비 업무가 발생하는 경우 : 고장 시점에서 고장수리의 기간은 결정적이기 때문에 고장수리 완료시점을 알 수 있다. 고장수리 완료 시점이 계획된 예방정비 시점보다 늦을 경우에 이런 경우가 발생하는데 이 경우에는 고장수리의 수명감소인자의 값이 예방정비의 값보다 크면 고장수리를 수행하고 예방정비를 생략하며 예방정비의 값이 더 크면 고장수리를 생략하고 예방정비가 가능한 시점에서 예방정비를 수행한다.
- 예방정비의 지연 중 고장수리가 발생하는 경우 : 고장의 발생시 예방정비가 지연되고 있으면 수명감소인자의 값이 큰 정비만 수행된다. 만약 고장수리의 수명감소인자의 값이 더 크고 고장수리가 즉시 수행 가능하면 고장수

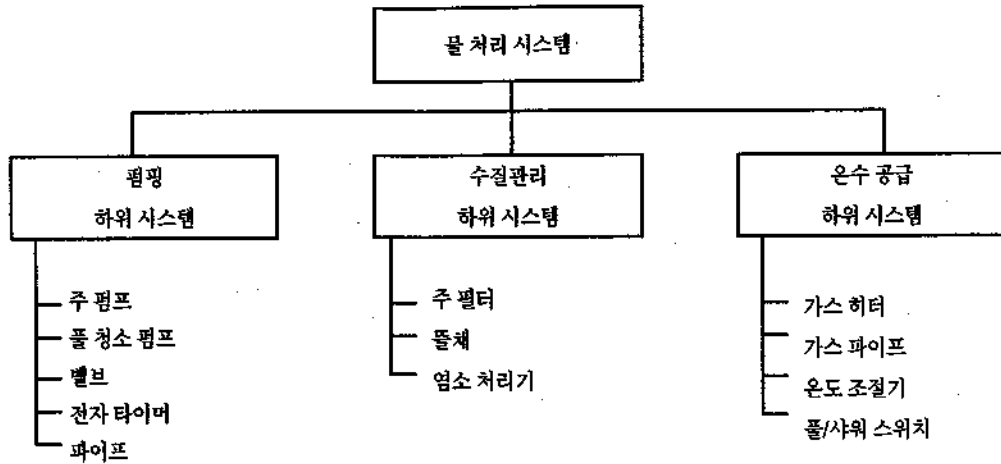


그림 3. 물 처리 시스템의 계층구조.

리를 수행하고 지연된 예방정비를 취소되면 즉시 수행 가능하지 못하면 지연된 예방정비는 생략하고 고장정비를 지연해 가능한 시점에 수리한다. 만약 예방정비의 수명감소인자의 값이 더 크면 고장수리는 생략된다.

- 예방정비의 수행도중 예방정비가 발생하는 경우: 예방 정비 업무가 중복된 경우는 나중 예방정비업무 계획을 생략한다.

4. 예 제

본 논문에서 연구된 시뮬레이션 결과를 수영장 시스템에의 활용 예를 설명한다. 적용 대상인 수영장 시스템은 Smith(1993)의 저서, 'Reliability-Centered Maintenance'에서 소개된 예제를 사용한다. 분석은 수영장 시스템의 물 처리 시스템에 대해서 수행되며 그 계층 구조는 아래의 <그림 3>과 같다.

위 <그림 3>에서 가장 하위에 나타난 개체들이 시스템의

부품이 되며 각 부품들에 대한 고장모드를 찾기 위해 일반적으로 신뢰성 기반 보전에서 부품들에 대한 기능과 그에 대한 기능고장 그리고 기능 고장에 대한 고장모드를 찾아나간다. 본 예제에서 펌핑 하위 시스템의 하위 부품인 주 펌프의 고장 모드로는 베어링 고장, 모터 고장, 펌프 누수가 있다. 기타 다른 고장모드에 대해서는 'Reliability Centered Maintenance'에 신뢰성 기반 정비 절차로부터 구한 고장모드들이 나와 있다(Smith, 1993).

이렇게 구한 고장모드들에 대해서 정비 업무를 수행하게 되는데 예방정비를 수행할 것인지 안 할 것인지를 결정은 기존의 신뢰성 기반 정비의 절차에 따라 선정될 수 있다. 본 연구에서는 이렇게 선정된 결과에 대해 예방 주기의 효율성과 선정의 합리성을 평가하기 위한 시뮬레이션 시스템을 개발하였는데, 위의 예제에 임의의 와이불 분포 및 기타 모수들을 입력값으로 산정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 첫 번째 임의로 선정된 예방정비의 주기에 대해서 시뮬레이션을 수행하고, 다시

표 2. 변경된 입력자료

변경내용	변경 전	변경 후
주 펌프의 베어링 고장 예방정비 주기	8,760(hr)	4,320(hr)
전자 타이머의 타이머 고장 예방정비 주기	4,320(hr)	2,160(hr)
수질관리 하위시스템의 예방정비 실시 여부	○	×
가스 히터의 가스 출구 막힘 예방정비 주기	720(hr)	4,320(hr)

첫 번째 입력 값에서 몇 가지를 변경한 수 시뮬레이션을 수행하였다. 아래의 <표 2>는 변경이 된 고장모드와 변경값들을 나타낸다.

위의 각 시뮬레이션 입력값에 대해 10년(87600시간) 동안 100번 반복하여 시뮬레이션을 수행하였으며 수행된 결과는 아래의 <표 3>과 같다.

<표 3>의 결과에서 분석하고자 하는 물처리 시스템은 <표 2>와 같이 정비 정책을 변경하였을 때 가용도와 비용 측면에서 향상을 보였다. 보다 적합한 정비 정책은 위의 결과보다 더 육 큰 향상 결과를 가져오리라 예상된다.

표 3. 변경 전, 후의 시뮬레이션 결과

대상	가용도		비용(원)	
	변경 전	변경 후	변경 전	변경 후
물처리 시스템	0.89924	0.91037	24,464,476	23,585,754
주 펌프	0.98139	0.98676	4,062,591	3,982,500
전자 타이머	0.98450	0.98777	3,637,483	3,571,550
수질관리 시스템	1.0	1.0	3,532,650	2,829,600
가스히터	0.97032	0.97595	4,301,368	4,261,055

5. 결론 및 추후 연구과제

신뢰성 기반 정비는 대형 설비나 시스템의 정비 정책 수립을 위한 체계적인 접근법으로 그 효과의 우수성이 보고되고 있다. 그 효과들은 각 고장모드들에 대한 불필요한 예방정비의 생략과 새로운 고장모드에 대한 예방정비의 선정으로 나타난다. 본 연구에서는 이렇게 선정된 정비 정책, 즉 예방정비의 수행 여부에 대하여 가용도 및 비용 측면에서의 효율을 평가할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 기존의 시뮬레이션 연구에서 효과적으로 처리되지 못한 정비 업무의 처리를 수명감소인자를 도입하여 유연하게 시뮬레이션으로 구현하였으며 최소 절단 집합을 사용자가 직접 입력해야 하는 조건을 시스템의 계층구조를 입력하는 것으로 사용자 편의성을 고려하였다. 기존의 연구에서 최소 절단 집합을 입력하면 네트워크 구조등의 복잡한 시스템 신뢰도 분석이 가능하나, 현재 대형화된 시스템의 대부분들은 직·병렬 시스템만으로 이루어진 경우가 대부분이므로 본 논문에서는 직·병렬로 표현되는 시스템을 대상으로 하였다. 그 구조가 직·병렬의 형태라 하더라도 대형화된 시스템의 경우 한 고장모드의 정비업무는 다른 부품들과 그 연관성이 아주 높다. 본 논문에서는 정비 업무에 의해 발생할 수 있는 다양한 상황을 현실성 있게 시뮬레이션으로 모형화하였으며, 기존의 예제를 통해 본 연구에서 개발된 시뮬레이션의 활용 용도를 보였다. 추후 연구과제로는 시뮬레이션 특성상, 현 상황에 대한 적정 대안을 제시하지는 못

하는 단점을 가지고 있는데, 적정 대안을 제시할 수 있는 방안 에 대한 연구가 필요할 것이다. 또한 현재 직·병렬로 한정되어 있는 시스템을 다양한 구조로 이루어진 시스템으로의 확장 이 요구된다.

참고문헌

- 윤원영, 김종운, 손성민 (1998), 신뢰성 기반 보전(RCM)과 RCMCost 프로 그램 활용, *대한산업공학회 추계학술대회발표논문집*.
- Chrisman, J. A. (1998), Using Discrete Simulation Modeling to Study Large-Scale System Reliability/Availability, *Computers and Operations Research*, 25, 169-174.
- Lander, T. L., Taha, H. A. and King, C. L. (1991), A Reliability Simulation Approach for Use in the Design Process, *IEEE Transactions on Reliability*, 40, 177-181.
- Murthy, D. N. P. (1991), A Note on Minimal Repair, *IEEE Transactions on Reliability*, 40, 245-246.
- Nakagawa, T. Sequential Imperfect Preventive Maintenance Policies, *IEEE Transactions on Reliability*, 37, 295-298.
- Nakagawa, T. and Yasui, K. (1987), Optimum Policies for a System with Imperfect Maintenance, *IEEE Transactions on Reliability*, 36, 631-633.
- Rausand, M. (1998), Reliability Centered Maintenance, *Reliability Engineering and System Safety*, 60, 121-132.
- Vujosevic, M. (1987), *Uncertainty in Reliability Evaluation Processes and a Simulation Approach to Treating It*, 32, 245-250.
- Smith, A. M. (1993), *Reliability-Centered Maintenance*, McGraw-Hill.
- Moubray, J. (1997), *Reliability-Centered Maintenance, 2nd*, Industrial Press Inc.

윤원영

서울대학교 산업공학과 학사
한국과학기술원 산업공학과 석사
한국과학기술원 산업공학과 박사
현재: 부산대학교 산업공학과 교수
관심분야: 신뢰성 공학, 시뮬레이션



김종운

부산대학교 산업공학과 학사
부산대학교 산업공학과 석사
현재: 부산대학교 산업공학과 박사과정
관심분야: 신뢰성 공학, Bayesian Statistics

손성민

동의대학교 산업공학과 학사
부산대학교 산업공학과 석사
현재: LG 전자 에어컨 연구실
관심분야: 신뢰성 공학