

# 고장 안전 특성을 가지는 내장형 AVTMR 시스템의 설계 및 RAMS 평가

정희원 김 현 기\*, 이 현 태\*\*, 이 기 서\*\*\*

## Design and RAMS Evaluation of embedded AVTMR System with Fail-safe Output Voter

Hyunki Kim\*, Hyeuntae Lee\*\*, Keyseo Lee\*\*\* *Regular Member*

### 요 약

본 논문에서는 결함의 영향을 받지 않고, 결함이 발생하여도 안전측으로 동작할 수 있는 고장안전 보터(Fail-safe Voter)의 특성을 가지는 AVTMRWFSV(All Voting Triple Modular Redundancy With Fail-Safe Voter) 시스템 구조를 설계하였으며, 마코브 모델링(Markov Modeling) 고장율에 따른 시스템의 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety)를 평가하였다. 고장 안전 보터를 가지지 않은 AVTMR(All Voting Triple Modular Redundancy) 시스템과 AVTMRWFSV 시스템을 비교분석 하였고, 특히, 안전도(Safety)의 특성에 있어서 우수하다는 것을 보였으며 설계된 AVTMRWFSV 시스템이 AVTMR보다 전반적인 시스템 평가에서 우수한 특성을 가진다는 것을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다. 이러한 AVTMRWFSV 시스템은 결함을 허용(Fault tolerant)하고, 고장 발생시 안전측으로 동작하는 특성을 가지기 때문에, 높은 신뢰성(Dependability)이나 안전성(safety)이 요구되는 통신 시스템이나 인간의 생명과 관련된 임베디드(Embedded) 철도통신 시스템, 선박 시스템이나 항공기 시스템에 적용될 수 있다.

**Key Words :** Fault-Tolerant System, Reliability, Safety, AVTMR, AVTMRFSV

### ABSTRACT

In this paper, we design AVTMRWFSV(All Voting Triple Modular Redundancy With Fail-Safe Voter) System with a fail-safe output voter architecture and analyze RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety) as system failure rate. This system is compared with AVTMR system for RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety) with Markov modeling, and we can see that the system safety of AVTMRWFSV is more profitable than that of AVTMR.

The dependability of AVTMRWFSV system is higher than that of AVTMR. Especially, safety is very profitable. So, this kind of system can be applied to embedded communication system and life critical systems - railway, airplane, ship, nuclear control system and so on.

### I. 서론

산업사회의 발전에 따라 인간의 생명과 밀접한

시스템에서 높은 신뢰도(Reliability)와 안전도(Safety) 및 결함(Fault)을 허용(Tolerance)할 수 있는 시스템이 요구되어 왔다. 이러한 문제를 해결하

\* 팽택엔큐리텔 연구7실 5팀 (hkkim@netian.com), \*\*목원대학교 정보통신공학과 MCN 연구실 (htlee@mokwon.ac.kr),  
\*\*\* 광운대학교 정보제어공학과 시스템공학연구소 (kslee@daisy.kwangwoon.ac.kr)  
논문번호 : KICS2004-11-290, 접수일자 : 1998년 6월 8일

기 위해 다수결 보터(Majority voter)를 이용하는 최초의 결함허용 시스템(Fault tolerant system)이 아폴로의 유도 시스템에 적용이 되었으며 인간의 생명과 직접적으로 관련된 시스템인 항공기 철도 시스템, 통신 시스템 등에 사용되어 왔다[2,5]

이러한 결함허용 시스템을 개발하기 위해 고장의 연구가 필요하게 되었고, 결함이 오류를 발생시키고, 오류가 시스템의 고장을 발생시킨다는 것을 알게 되었다. 즉, 결함허용 시스템(Fault tolerant system)이란 결함이 발생했을 때, 시스템이 오류나 고장으로 전이되는 것을 방지하는 시스템이라 볼 수 있다. 결함을 방지하는 기법으로는 결함 회피(Fault avoidance)와 결함허용(Fault tolerance)이 있다. 결함회피는 전자소자의 질을 향상시켜서 고장율(Failure rate)을 작게 하고, 시스템에 대한 완벽한 테스트를 통해서 시스템을 구성하는 방법으로 실질적으로 구현하기 어려운 시스템이다. 왜냐하면, 시간이 지나감에 따라 전자소자의 질은 떨어지고 예상치 못한 경우에 대해서 완벽한 테스트를 한다는 것은 어려운 일이기 때문이다. 결함허용 시스템(Fault tolerant system)은 시스템에서 결함이 발생하더라도 정상적인 동작이 계속 유지되는 시스템이다. 그래서, 결함허용 시스템은 결함회피 시스템보다 시스템을 개발하는데 있어서 많은 장점을 가지게 된다. 일반적으로 결함허용 시스템은 여분을 가지고 있는 구조로 되어있고, 결함이 발생을 하여도 정상적인 동작을 멈추지 않고 동작을 하는 특성을 가지게 된다. 이러한 기법으로는 하드웨어 여분(hardware redundancy), 소프트웨어 여분(software redundancy), 시간 여분(time redundancy), 정보 여분(information redundancy)의 구조가 있다. 하드웨어 결함허용 기법은 소프트웨어 결함허용 시스템보다 시간이 중요시되는 시스템에 적용된다. 하드웨어 결함허용 시스템은 버스 레벨로 데이터를 비교하고 보팅(voting)을 하는 특성을 가지는 반면, 소프트웨어 기법은 시스템 레벨에서 데이터를 처리하는 구조를 가지게 된다.[1,3]

본 논문에서는 AVTMR(All Voting Triple Modular Redundancy) 시스템과 안전도의 특성을 높인 제안된 AVTMRWFSV(All Voting Triple Modular Redundancy With Fail-Safe Voter) 시스템의 RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 비교를 통하여 분석을 하였다[1,6] AVTMR 시스템은 출력단에 단순 보터의 특성을 가지도록 구성되어있는 반면, AVTMRWFSV 시스템은 출력단에

고장안전 특성을 가지는 보터로 구성이 되며 고장이 발생했을 경우에는 안전측으로 전환될 수 있는 특성을 가지도록 구조를 제안하였다. 고장안전 보터의 특성은 기존의 AVTMR 시스템의 결함을 마스크(Masking) 하는 개념이 아니라 결함을 검지하여 시스템을 안전하게 만드는 개념이다. 특히, 이러한 시스템에서는 또한 결함수용율(Fault Coverage)가 중요하게 된다. 본 논문에서 이러한 시스템의 구조를 제안하고, 시스템의 평가는 마코브 모델(Markov model)을 이용하여 평가되었으며, 이렇게 제안된 시스템은 높은 안전도가 요구되는 시스템인 항공기, 철도, 선박, 통신 시스템에 적용이 될 수 있다[5]

## II. TMR 시스템 설계

일반적인 TMR시스템의 구조는 결함이 발생했을때 결함을 마스크(Masking)하는 구조인 보터(Voter)를 이용해서 설계가 된다[1,7] 본 논문에서 설계된 시스템은 크게 두 부분으로 보터가 적용이 된다. 하나는 어드레스 버스, 데이터 버스, 제어신호에 대한 보팅을 하는 부분과 최종 출력단에 하나의 결과를 주기 위한 출력 보팅으로 나눌 수 있다. 그러면, 이러한 구조를 가지는 두가지 시스템 즉, 기본적인 버스레벨로 보팅을 하고 출력에서 단순 보팅을 하는 AVTMR 시스템과 출력 측에서 고장 안전 보팅을 하는 AVTMRWFSV 시스템의 구조에 대해서 알아보자[8]

### 2.1 AVTMR 시스템 구조

그림 1에는 가장 기본적인 보터의 구조에 대해서 나와 있다. 3개의 각기 다른 입력이 보터의 회로에 입력이 되면 다수결의 원칙에 따라서 같은 입력의 값이 많은 데이터를 출력한다

그림 1의 진리표에 나와 있는 것처럼 A가 잘못된 입력 0이 되고, B, C가 1이 입력이 되면 output

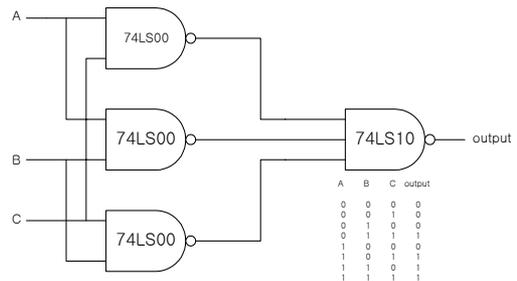


그림 1. 보터의 구조

은 1의 값을 출력한다. 이렇듯 한 개의 모듈이 고장이 발생을 하더라도, 정상적인 동작을 할 수 있게 된다. 결국, 한 개의 결함을 가지는 입력에 대해서 다수결 보터를 통해서 결함이 마스크(Masking)이 되는 구조를 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 다수결 보터를 CPU 보드에서 3중화하여 한 개의 보터가 고장이 발생해도 시스템에서 결함이 발생하지 않고 정상적인 동작을 할 수 있는 AVTMR 시스템이 그림 2에 나타나 있다. 각각의 시스템은 CPU를 가지고 있고, 입출력보드를 가지고 있다. CPU와 각각의 입출력보드에 전달하는 데이터는 CPU에 있는 내부 보터에 의해서 어드레스 버스, 데이터 버스, 제어버스의 비교가 이루어진다. 출력 보터인 경우에는 3개의 출력 보드에서 최종 한 개의 출력을 내야 하므로 출력 보터를 사용하고 있다. 이 AVTMR 시스템은 고장안전의 특성을 가지지 않으므로 그림 1과 같은 보터의 구조를 가지도록 시스템이 설계된다.[8,9]

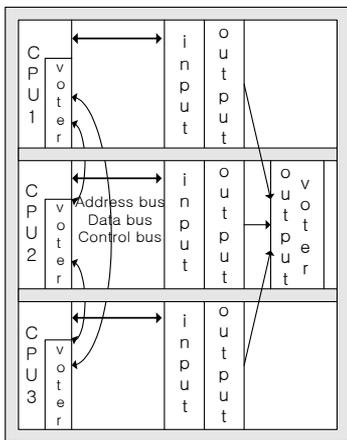


그림 2. AVTMR 시스템구성도

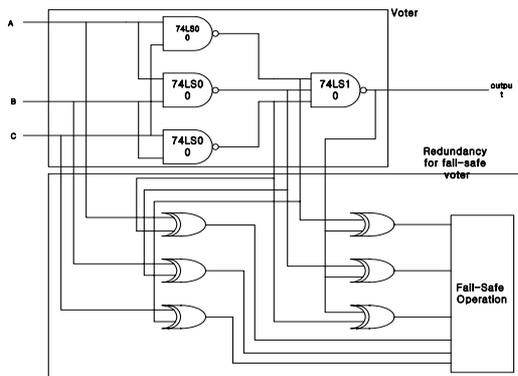


그림 3. 고장 안전 보터의 구조

## 2.2 AVTMRWFSV 시스템 구조

고장안전 특성을 가지는 AVTMRWFSV 시스템의 설계는 일반적인 AVTMR과의 차이점은 출력에 있어서 결함을 검지하여 안전측 동작을 유도할 수 있는 특성을 가진다는 것이다. 즉, AVTMR 시스템은 결함을 단순히 마스크(Masking)하므로서 잘못된 입력에 대해서 잘못된 출력을 낼 수 있는 특성을 가진다. 그러나, 고장안전특성을 가지는 보터를 사용하면 출력측에서 출력 보터에 대한 안전성이 더욱더 확보될 수 있고, 전체 시스템의 안전도를 높일 수 있는 특성을 가지도록 시스템이 구성이 될 수 있다. 그림 3은 고장 안전 보터의 구조를 나타내고 있다. 크게 두 가지의 부분으로 나눌 수 있다. 하나는 보터를 나타내고 있고, 두 번째 블록은 고장안전 보터를 위한 여분을 나타내고 있다. 즉, 보터에 대한 결함을 검지하고, 그 결함에 따른 안전한 동작을 유도할 수 있도록 구성되어 있다. 보터와 여분과의 구조를 살펴보면, 보터의 각 입력 단계마다 입력이 각 단계의 출력과 exclusive-or를 이용해서 결함이 발생한 위치를 찾아내게 된다. 결함이 검출이 되면, 정확한 출력을 내는 값을 가진 두개의 시스템에 대한 결과를 가지고서 시스템을 운용하게 된다. 이러한 고장 안전 보터는 보터의 설계에 있어서 단일 설계보다는 두 배 이상의 비용이 들어가게 되지만 시스템의 안전성이라는 측면에 있어서 높아지는 효과를 가지게 된다.

그림 4는 고장 안전 보터를 가지는 시스템의 구조를 나타내고 있다. 출력이라는 부분이 시스템의 전체적인 동작에 있어서 상당히 중요한 부분의 형성하기 때문에 출력 단계 고장안전 보터를 사용하여 시스템의 안전성을 높이게 설계되었다. 또한, 이

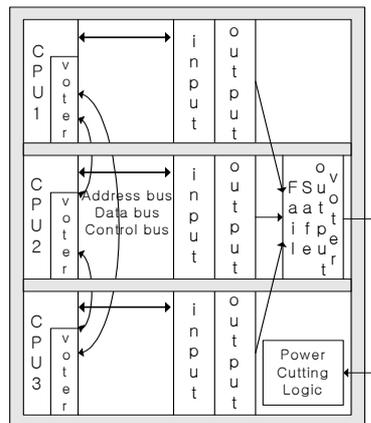


그림 4. 고장 안전 보터를 가진 시스템 구성도

러한 결합의 검지를 통해서 전체의 시스템이 안전한 방향으로 가도록 시스템의 고장안전 동작 모드로 전환이 되어야 한다 일반적으로 고장안전 상황은 시스템의 출력 전원의 절체 한다거나 모두 정지시키는 형태로 전환을 하거나 아니면 다른 이중계 시스템을 두어서 전환하는 구조를 구축해야 한다

### III. 시스템 모델링

본 논문에서는 시스템을 평가하는 모델링 기법으로 마코브 모델링(Markov modeling)을 이용한다. 마코브 모델(Markov model)은 시스템이 가질 수 있는 상태에 따라 표현될 수 있는 확률적인 시스템 평가모델을 제공한다. 즉, 설계된 시스템의 RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 표현을 위해 각각의 상태는 동작이 가능한 모듈과 고장 모듈로 표현된다. 시스템에서 각 모듈은 동작 상태와 결합 상태의 한 조건이 된다. 이러한 상태의 변화를 상태 전이(State transition)라고 한다. 이러한 상태 전이에 따라 이산 시간 모델로 되는 전이율로 시스템 고장율에 따른 확률을 할당하여 시간의 변화에 따른 식을 유도하여 시스템을 모델링한다. 이렇게 모델링 된 시스템은 각각 전자소자의 고장율에 따른 시스템의 RAMS (Reliability, Availability, Maintainability)가 구해진다. 본 논문에서 마코브 모델링을 하는 데 있어서 다음과 같은 두개의 가정하에서 평가된다.[2,9,10]

- (1) 한번에 오직 한 개의 고장만 발생한다.

- (2) 시스템의 동작이 정상적일 때는 시스템의 동작은 완벽히 동작을 하는 상태에서 시작한다.

표 1. 모델링에 사용된 기호의 정리

기 호	의 미
$\lambda_p$	프로세서 고장율
$\lambda_m$	프로세서를 제외한 고장율 (메모리, 주변장치/입출력)
$\lambda_v$	내부보터의 고장율
$\lambda_{ov}$	출력보터의 고장율
$C_{ov}$	출력 보터의 결합 수용율
$\mu$	수리율

#### 3.1 AVTMR 시스템 모델링

제안된 AVTMR 시스템의 구조가 그림 2에 나타나 있다. 3개의 CPU1, CPU2, CPU3가 데이터 버스, 어드레스 버스, 제어 버스를 받아서 보팅을 하는 구조를 가지고 있다. CPU보드의 보터는 3중화 되어있기 때문에 한 개의 보터가 고장이 발생을 하여도 정상적인 동작을 하는 구조를 가지고 있고, 출력에는 한개의 보터를 이용해서 시스템을 구성하고 있다. AVTMR 시스템의 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety)를 평가하기 위하여 그림 2에 대한 시스템 마코브 모델을 그림 5와 같이 구성하였다. 그림 5에서 첨자 P는 프로세서를 의미하며 3P는 3개의 CPU가 정상적인 동작을 하는 것을 나타내고, 상태 변화에 의해서 2P가 되는 경우는 프로세서 1개가 고장이 나는 경우를 나타낸다 3V는

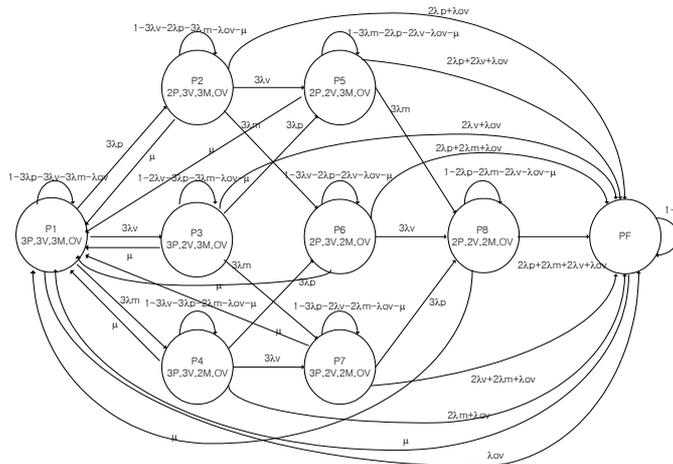


그림 5. AVTMR 마코브 모델

3중화 보터를 의미하고 2V는 3중화 보터 중 한 개가 고장이 나는 경우를 나타낸다 3M은 나머지 소자의 정상적인 상태를 의미하고 2M은 한 개의 고장난 상태를 가지는 경우를 나타낸다

OV는 출력 보터를 의미한다 그리고, 각 상태에서 시스템이 고장이 발생을 하였을 때는 같은 수리율을 가지는 것으로 시스템의 마코브 모델을 구성하였다. 즉, 그림 5에서는 각 상태에서 3개의 시스템이 정상 동작하는 상태로의 같은 수리율이 전이 된다. 표 2는 AVTMR 시스템의 동작상태를 나타내고 있다. 각각의 상태에 따른 시스템의 동작상황을 나타낸다.[9,10]

표 2. AVTMR의 상태에 따른 동작상태

	CPU 상태(P)	주변장치 상태(M)	내부보터 상태(V)	출력보터 상태(OV)	동작 상태
P1	세계정상	3개정상	3개정상	정상	정상
P2	한개고장	3개정상	3개정상	정상	정상
P3	세계정상	3개정상	한개고장	정상	정상
P4	3개정상	한개고장	3개정상	정상	정상
P5	한개고장	3개정상	한개고장	정상	정상
P6	한개고장	한개고장	3개정상	정상	정상
P7	3개정상	한개고장	한개고장	정상	정상
P8	한개고장	한개고장	한개고장	정상	정상
FU	독립적으로 두개의 같은 모듈이 고장났을 경우			출력보터 고장검지	고장

### 3.2 AVTMRWFSV 시스템 모델링

고장안전 특성을 가진 AVTMRWFSV 시스템의 구조가 그림 4에 나타나 있다. 기본적인 구조는 AVTMR시스템과 같다. 즉, 내부 보터는 일반적인 구조의 보터를 사용하고, 출력측은 고장 안전 보터로 설계된 즉, 그림 3의 보터를 이용해서 출력 측에서 안전한 보터를 가지게 되는 구조를 가지고 있다 결국 이 시스템은 출력 보터에 대한 여분을 더 추가해서 보터가 결함이 발생하였는지를 검사하여서 높은 안전도(safety)를 가지도록 설계가 되었다. 이에 따른 시스템이 결함을 얼마나 검출 할 수 있도록 설계가 되느냐에 따라서 시스템의 안전도(Safety)에 많은 변화를 가져 올 수 있다 이러한 안전도를 높이기 위한 결함 검출율을 높이는 방법은 많은 양의 여분을 보터에 사용하면 되지만 이것은 다시 신뢰도를 떨어뜨리는 요인이 되므로 적용되는 시스템에 따라 적절한 구조를 선택해야 한다

이 시스템에 대한 마코브 모델은 그림 6과 같다.

마코브 모델을 보면, 기존의 AVTMR 시스템에는 없던 PFS, PFU가 있다. PFS는 고장 안전 상태로, 결함이 보터에서 검출이 되면 고장안전 상태로 전환을 하게 된다. 즉, AVTMR시스템에서 한개의 모듈이 고장이 발생을 하였을 경우에 두개의 시스템이 결국 비교기의 기능을 해서 동작을 하게 된다

하지만, 이때 다시 결함이 발생을 하였을 경우에 결함이 검지될 때, 시스템은 안전측으로 전환이 될 수 있는 것이다. 그러므로, Cov, 즉 결함을 검출할 수 있는 결함 수용율(Fault coverage)에 의해서 시스템의 안전도의 특성이 달라질 수 있다. PFU는 기존의 AVTMR 시스템의 PF와 같은 의미이며, 고장 안전 상태와는 전혀 관계가 없으며, 출력측의 결함 수용율에 발견되지 못하는 경우 시스템의 상태는 고장의 상태로 천이가 된다. 마코브 모델의 각 상태에 따른 시스템의 동작표가 표 3에 나타나 있다.

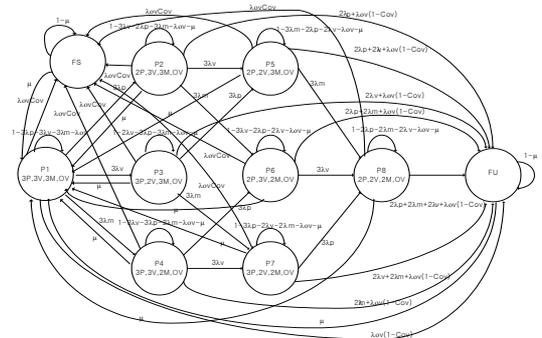


그림 6. AVTMRWFSV 시스템의 마코브 모델

표 3. AVTMRWFS의 상태에 따른 동작상태

	CPU 상태(P)	주변장치 상태(M)	내부보터 상태(V)	Fail safe 출력 보터 상태(OV)	동작 상태
P1	세계정상	세계정상	세계정상	정상	정상
P2	한개고장	세계정상	세계정상	정상	정상
P3	세계정상	세계정상	한개고장	정상	정상
P4	세계정상	한개고장	세계정상	정상	정상
P5	한개고장	세계정상	한개고장	정상	정상
P6	한개고장	한개고장	세계정상	정상	정상
P7	세계정상	한개고장	한개고장	정상	정상
P8	한개고장	한개고장	한개고장	정상	정상
FS	N/A	N/A	N/A	출력보터 고장검지	고장안전 상태
FU	독립적으로 두개의 같은 모듈이 고장났을 경우			출력보터 고장불검지	고장

IV. RAMS 시뮬레이션

4.1 신뢰도(Reliability)

그림 7은 신뢰도의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 즉, 설계된 AVTMR과 결합 수용율에 따른 AVTMRWFSV 시스템에 대한 결과를 나타내고 있다. 여기서 살펴보면 신뢰도는 AVTMR시스템과 AVTMRWFSV 시스템과의 차이가 없음을 볼 수 있다. AVTMRWFSV는 각각 결합 허용율  $Cov=1.0, 0.9, 0.8$ 에 대한 시뮬레이션을 했지만 결국 시스템의 신뢰도에는 큰 차이가 없음을 볼 수 있다 결국, 제안된 시스템의 구조에서는 신뢰도가 안전도와 큰 차이가 없음을 볼 수 있다 신뢰도는 사용된 기본 시스템의 부품의 양에 따라서 나타나지만 결국 안전도를 높이기 위한 고장안전 보터가 추가되었을 때 많은 차이가 나지 않음을 볼 수 있다

표 4. RAMS 방정식

RAMS	방정식
Reliability	$Single: P_0(t)$ $AVTMR: P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t)$ $+ P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) + P_8(t)$ $AVTMRWFSV: P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t)$ $+ P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) + P_8(t)$
Availability	$Single: P_0(t)$ $AVTMR: P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t)$ $+ P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) + P_8(t)$ $AVTMRWFSV: P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t)$ $+ P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) + P_8(t)$
Maintainability	$1 - e^{-\mu t}$
Safety	$Single: P_0(t)$ $AVTMR: P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t)$ $+ P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) + P_8(t) + P_9(t)$ $AVTMRWFSV: P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t)$ $+ P_5(t) + P_6(t) + P_7(t) + P_8(t) + P_9(t)$

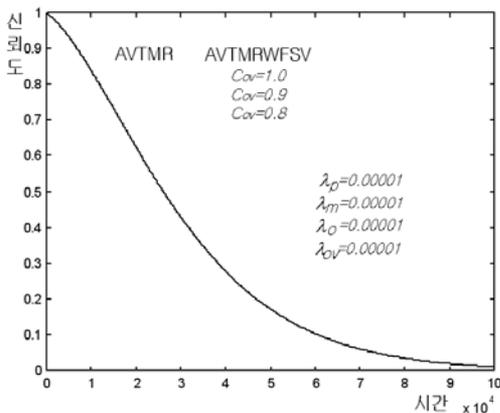


그림 7. 신뢰도

4.2 가용도(Availability)

그림 8은 AVTMR, AVTMRWFSV 시스템의 가용도를 나타내고 있다. 이 시스템도 마찬가지로 고신뢰도에서 가정한 고장율에 근거해서 시뮬레이션이 되었으며, 수리율에 근거하여 가용도를 시뮬레이션 하였다. 수리율의 변화에 따라서 AVTMR과 AVTMRWFSV에 대한 가용도를 나타내며 각각의 결합 수용율에 대해서 나타난 결과를 그림 8에서 나타내고 있다. 마찬가지로, 제안된 TMR시스템에서 수리율에 따른 시스템에 가용도가 차이가 있을 뿐 결합 수용율과 AVTMR이나 AVTMRWFSV에 따라서 큰 차이가 없음을 볼 수 있다 결국, 그림 10에서 알수 있는 것은 수리율이 높을 수록 시스템의 가용도가 높아진다는 것을 알 수 있고 이러한 수리율을 향상을 시키면 전체 시스템의 가용도가 높아진다는 것을 알 수 있으며, 제안된 시스템에도 기본 원칙을 따른 다는 것을 알 수 있다

4.3 유지보수도(Maintainability)

그림 9는 유지보수도(Maintainability)를 나타내고 있다. 이 시뮬레이션의 결과는 실질적으로 어떠한 동작을 하는 시스템에 적용될 때 시스템이 수리가 되어서 정상적인 동작을 할 수 있는 유지보수도(Maintainability)의 결과이다. 그림 9는 AVTMR 또는 AVTMRWFSV 시스템이건 고장이 발생하였을 때, 수리율(repair rate)에 따라서 시스템의 유지보수도가 달라지는 것을 나타내고 있다. 즉, 수리율이 클수록 다시 말해서 수리를 하는 시간이 짧을수록 시스템의 유지 보수도(Maintainability)가 우수하다는 것을 알 수 있다. 그러므로, 시스템의 가용도(Availability)를 높이기 위해서는 유지 보수도가 높

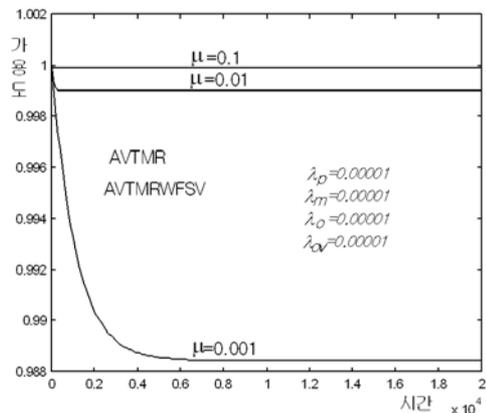


그림 8. 가용도

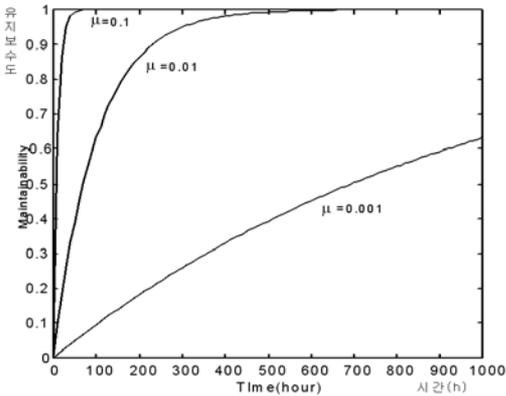


그림 9. 유지보수도

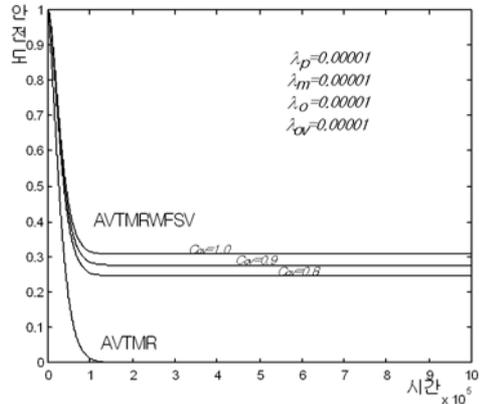


그림 10. 안전도

을수록 좋은 가용도를 가진다는 것을 알 수 있다. 이 시뮬레이션은 표 4의 유지보수도를 이용한 시뮬레이션 결과이다.

#### 4.4 안전도(Safety)

그림 10은 안전도의 시뮬레이션이다. AVTMR 시스템의 경우에는 신뢰도가 결국 안전도와 같은 의미를 가지게 된다. 그러므로 동일한 의미로 파악을 하면되며, AVTMRWFSV인 경우에는 안전도의 평가에 있어서 PFS 상태가 추가되어 시스템의 안전도를 평가하게 된다.

기본적으로 시스템의 고장율은 신뢰도의 평가와 같은 고장율을 사용하였으며, 결합 수용율을  $C_{ov} = 1.0$ ,  $C_{ov} = 0.9$ ,  $C_{ov} = 0.8$ 로 바꾸어 가면서 시뮬레이션한 결과가 그림 10에 나타나 있다. 결국 설계된 시스템은 결합 수용률이 높을수록 시스템의 안전도가 높아지는 것을 볼 수 있다. 또한, 제안된 AVTMRWFSV가 기본 AVTMR 시스템의 구조보다 더 우수한 안전도를 보장할 수 있다는 것을 그림 10에 나타나 있다. 결국 시스템을 구성하는데 있어서, 신뢰도가 안전도와 비례의 관계가 있다는 것을 나타내 주고 있지 않다는 것을 볼 수 있으며 고장 안전 특성을 가지는 시스템이 더욱더 우수한 안전도를 가지는 것을 알 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 결합허용 시스템인 AVTMR 시스템의 구조를 제안하고, 또 새로운 고장안전 보터의 특성을 가지는 AVTMRWFSV 시스템의 구조를 설계하여 시스템의 RAMS를 평가하였다. 결국 AVTMRWFSV의 시스템의 설계목적인 결합이 발생시 좀더 안전한

동작을 유발하기 위한 결합 검출 출력 보터를 설계하여 시스템을 구현함으로써 좀더 우수한 안전도의 특성을 가지는 시스템을 설계하였다. 또한, 본 논문에서 제시된 시뮬레이션에서 AVTMR과 AVTMRWFSV를 사용하는 시스템인 경우 신뢰도와 가용도의 측면에서 두시스템의 차이가 없는 것을 볼 수 있었다. 특히, 최근에 결합을 검지하는 회로는 FPGA나 ASIC설계화로 되기 때문에 한개의 칩이 출력보터 및 고장안전특성을 갖는 보터로 설계되기 때문에 시스템의 고장율에 있어서는 그리 많이 차이가 나지 않게된다. 전체 시스템을 볼때는 사용되는 부품은 많은 차이가 나지 않으므로, 시스템의 특성이 고장안전 시스템의 설계가 좀더 우수한 시스템의 특성을 갖는 다는 것을 알수가 있다. 이러한 시스템은 좀더 안전한 동작이 요구되는 항공기, 철도, 선박과 같은 특수한 임베디드 시스템에 적용이 될 수 있다. 차기의 연구과제로는 이러한 시스템에 소프트웨어에 대한 시스템의 고장율을 적용하여 전체시스템의 특성이 어떻게 변하는지에 대한 연구가 되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Hyunki Kim, "The Design and Evaluation of All Voting Triple Modular Redundancy", *The Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Seattle, WA, USA, January, 2002.
- [2] Barry W. Johnson, "Design and Analysis of Fault-Tolerant Digital Systems", Addison Wesley Publishing Company, 1989.
- [3] Dhiraj K. Pradhan, "Fault-Tolerant Computer System Design", Prentice Hall, 1996.

- [4] Charles Y. Choi, Barry W. Johnson and Joseph A. Profeta III, "Safety Issues in the Comparative Analysis of Dependable Architectures", *IEEE Tran. on Reliability*, Vol. 46, NO.3, 1997 September.
- [5] Daniel P. Siewiorek and Robert S. Swarz, "Reliable Computer System" Second Ed, *Digital Press*, 1992
- [6] Jeffrey A. Clark and Dhiraj K. Pradhan, "Reliability Analysis of Unidirectional Voting TMR systems through Simulated Fault-Injection" *IEEE Tran. on Reliability*, Vol.38, NO.7, 1992 July
- [7] JOHN F. WAKERLY, "Microcomputer Reliability Improvement Using Triple Modular Redundancy", *PROCEEDING OF THE IEEE*, VOL.64, No.6, JUNE 1976
- [8] 김현기의 2인, "보터의 구조에 따른 TMR 시스템의 신뢰도 평가에 관한 연구", *전기학회 춘계학술 대회*, 1998
- [9] 김현기, 이기서, "AVTMR 시스템 설계 및 RAM 평가", 제 12호, vol25, *한국 통신학회* 2000.
- [10] 김현기의 2인, "AVTMR과 듀얼 듀플렉스 시스템 비교에 관한 연구", 제 26호, 6호, *한국 통신학회 논문지*, 2001.

김 현 기 (Hyunki Kim)

정회원



1993년 2월 광운대학교 공과대학 제어계측공학과 학사  
 1995년 2월 광운대학교 대학원 제어계측공학과 석사  
 2001년 6월 광운대학교 대학원 제어계측공학과 박사  
 2004년 2월~현재 고려대학교

MBA

1999년 6월~2002년 8월 모토로라 선임연구원  
 2002년 9월~2004년 10월 텔슨전자 책임연구원  
 2005년 1월~현재 팬택앤큐리텔 책임연구원  
 <관심분야> 결합허용 시스템, 이동 통신, 영상처리, 휴대 인터넷, 실시간 운영체제

이 현 태 (Hyeuntae Lee)

정회원



1983년 2월 경북대학교 공과대학 전자공학과 학사  
 1986년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 석사  
 1997년 6월 연세대학교 대학원 전자공학과 박사  
 1986년 2월~1996년 12월 한국

전자통신연구원 선임연구원  
 1997년 2월~현재 목원대학교 정보통신공학과 교수  
 한국 콘텐츠학회 기획이사, 한국 통신학회 대전 충청지부 이사  
 <관심분야> 멀티미디어 통신 패킷 스위치, 임베디드 시스템, 결합허용 시스템

이 기 서 (Keyseo Lee)

정회원



1977년 2월 연세대학교 공과대학 전기공학과 학사  
 1979년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과 석사  
 1986년 8월 연세대학교 대학원 전기공학과 박사  
 1981년 3월~현재 광운대학교

공과대학 정보제어공학과 교수  
 <관심분야> 철도신호, 컴퓨터 제어, 결합 허용시스템 설계, 적응제어