'2000 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

플랜트 보호 시스템의 신뢰도분석과 유전알고리듬을 이용한 다중성의 최적화

Optimization of Redundancy by using Genetic Algorithm for Reliability of Plant Protection System

유 동 완
경북대학교
성 승 환·김 동 훈 ·박 희 윤·구 인 수
한국원자력연구소

요 약

고도화 된 산업화로 가면서 시스템의 신뢰도는 중요한 관심사로 등장하게 되었으며 신뢰성에 근거를 둔 보호 시스템의 설계는 중요한 위치를 차지하게 되었다. 플랜트 보호 시스템은 플랜트의 여러 상태를 입력받아 플랜트의 이상동작으로 안전성이 손상이 될 때 보호제어기가 동작해 플랜트의 동작을 정지시켜 플랜트의 안정성을 확보하는 시스템이다. 본 논문에서는 플랜트 보호시스템의 신뢰도를 분석하고, 신뢰도에 근거한 다중성(Redundancy)을 위한 문제설정과 유전알고리듬으로 이의 최적화를 제안한다. 유전알고리듬은 탐색 공간이 크거나 분석적으로 해를 찾을 수 없는 최적화 문제에 대해 유용한 알고리듬이다. 특히 목적함수의 미분치를 구하기 어렵다거나, 국부 최소점(Local minimum)이 존재할 경우 유용한 알고리듬이다. 실제 고장률(MIL-HDBK-217)에 근거를 둔 기기 고장률을 사용하여, 구성된 제어기의 모의 한 채널의 신뢰도를 위한 다중성을 최적화 함으로써 제안된 문제설정과 최적화기법의 효용성을 확인하였다.

ABSTRACT

The design and development of a reliable protection system has been becoming a key issue in industry field because the reliability of system is considered as a important factor to perform the system's function successfully. Plant Protection System(PPS) guarantees the safety of plant by accident detection and control action against the transient conditions of plant.

This paper presents the analysis of PPS reliability and the formal problem statement about optimal redundancy based on the reliability of PPS. And the optimization problem is solved by genetic algorithm. The genetic algorithm is a useful tool to solve the problems, in the case of large searching, complex gradient, existence local minimum. The effectiveness of the proposed optimization technique is proved by the target reliability of one channel of PPS, using the failure rate based on the MIL-HDBK-217.

I. 서론

현대적인 FA는 여러 종류의 기기가 복합적으로 연계되어 있어 단일기기의 고장에 의한 파급효과가 크다. 즉 예전에 단독으로 운전되는 기계의 고장은 장치의 운용 손실로 끝나게 되지만 요즘의 공장자동화(FA)에서는 전체공장에 치명적으로 작용하고 그로 인한 주변의 손실들이 많게 작용한다. 그리고 복잡하고 정교한 시스템일수록 고장률이 높아지게 되어 시스템의 신뢰도는 중요한 관심사로 등장하게 되었으며 신뢰성에 근거를 둔 제어기의 설계는 중요한 위치를 차지하게 되었다.[1-5] 플랜트 보호 시스템은 플랜트의 여러 상태를 입력받아 플랜트가 이상동작이 고장과 사고로 진단될 때 제어기가 동작해 플랜트의 동작을 정지시켜 플랜트와 인명 등을 보호하는 시스템이다. 원자력 발전소의 보호계통 등이 대표적인 예이다.

본 논문에서는 플랜트 보호시스템의 신뢰도를 분석하고, 신뢰도에 근거한 다중성(Redundancy)를 위한 문제설정과 유전알고리듬으로 이를 최적화를 제안하였다. 유전알고리듬은 탐색 공간이 크거나 분석적으로 해를 찾을 수 없는 최적화문제에 대해 유용한 알고리듬이다. 특히 목적함수의 미분치를 구하기 어렵다거나, 국부 최소점(Local minimum)이 존재할 경우 유용한 알고리듬이다.[6-7] 다중성의 최적화 목적함수에서는 각각의 다중성에 대해 목적함수의 구조가 바뀌므로 미분치를 구하기가 쉽지 않기 때문에 일반적인 최적화기법을 적용하기 보다 이러한 문제를 해결하기 위해 유전 알고리듬을 사용하였다.

실제 고장률(MIL-HDBK-217)에 근거를 둔 고장률을 사용하여, 구성된 시스템의 모의 한 채널의 신뢰도를 위한 다중성을 최적화 함으로써 제안된 문제설정과 최적화기법의 효용성을 확인하고자 한다.

II. 플랜트 보호 시스템의 신뢰도

플랜트 보호 시스템은 플랜트의 여러 상태를 입력 받아 플랜트가 이상동작이 고장사고으로 진단될 때 플랜트의 동작을 정지시켜 플랜트와 인명 등을 보호하는 제어기이다. 플랜트 보호 시스템은 그림 1과 같이 플랜트의 상태를 입력받는다. 한 채널의 입력은 벡터 형태이다. 즉 원자력 발전소의 경우 압력, 증기발생기의 수위, 온도, 유량 등에 대한 측정변수를 입력받아 동작한다. 네 채널로 구성된 플랜트 보호 시스템은 각 채널별로 동일변수에 대한 독립된 센서를 통해 입력을 받는다. 즉 각 채널의 센서로 들어오는 입력변수벡터(Input1=Input2=Input3=Input4)는 동일하다. 각 채널은 고장진단기능을 하는 제어기로 동작한다. 그리고 신뢰성을 재고하기 위하여 병렬로 다중화(Redundancy) 시켰다. 동시논리부(Voter)는 4개중 2개 이상이 일치해야 동작하는 역할을 하는 2/4동시발생논리를 가진다. 바이패스는 운전자가 한 채널을 보수유지 위해 또는 운전자의 판단에 따라 제어기의 동작에서 우회(분리)시킬 필요가 있을 때 분리시키는 역할을 한다.

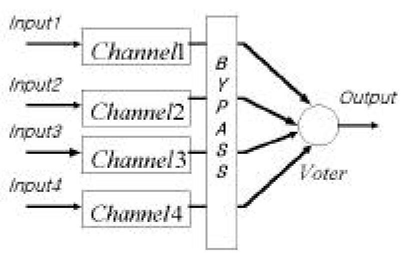


그림 1 플랜트 보호 시스템

플랜트 보호 시스템의 목표 신뢰도가 주어졌다고 가정한다 한 채널의 고장률에 따른 전체 신뢰도를 분석한다면 한 채널의 목표 신뢰도를 구할 수 있다. 그러므로 먼저 한 채널의 고장률에 따른 전체 신뢰도를 분석한다.

2.1 정상운전시 플랜트 보호 시스템의 신뢰도

한 채널을 바이패스 시키지 않은 정상상태의 플랜트 보호시스템의 신뢰도 분석을 위한 마르코프 모델(Markov model)**이다. 각 채널 시스템의 고장률을 상수** λ**로 가정한다.**

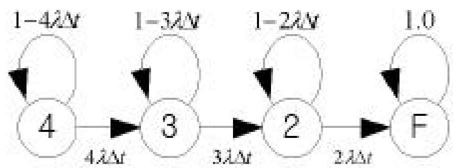


그림 2 **정상운전시 플랜트 보호 시스템의 마르코프 모델**

아래 $P(t)$**는 시각** t **에 각각의 상태에 있을 확률로 두면, 마르코프 모델에 의한 미분 방정식을 아래 식**(1)**에서**(3)**과 같이 둘 수 있다.**

$$\frac{dP_4(t)}{dt} = -4\lambda P_4(t) \quad (1)$$

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = 4\lambda P_4(t) - 3\lambda P_3(t) \quad (2)$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = 3\lambda P_3(t) - 2\lambda P_2(t) \quad (3)$$

$$\frac{dP_F(t)}{dt} = 2\lambda P_2(t) \quad (4)$$

여기서 초기값(t=0)**은 다음과 같다.**

$$P_4(0) = 1, \quad P_3(0) = P_2(0) = P_F(0) = 0$$

식 (1-3)**의 해는 식**(5-7)**과 같다.**

$$P_4 = e^{-4\lambda t} \quad (5)$$

$$P_3 = 4e^{-3\lambda t} - 4e^{-4\lambda t} \quad (6)$$

$$P_2 = 6e^{-2\lambda t} - 12e^{-3\lambda t} + 6e^{-4\lambda t} \quad (7)$$

그러므로 정상상태 즉 1**채널이 임의로 바이패스 시키지 않았을 때 신뢰도는 각 상태의** P_4**와** P_3 **와** P_2**를 모두 더 하여 식**(8)**과 같이 나타낼 수 있다.**

$$\begin{aligned} \boldsymbol{R}_{pps} &= P_4 + P_3 + P_2 \quad (8) \\ &= 6e^{-2\lambda t} - 8e^{-3\lambda t} + 3e^{-4\lambda t} \end{aligned}$$

이 보호시스템의 MTTF **다음 식**(9)**와 같이 나타낼 수 있다.**

$$\begin{aligned} MTTF_{pps} &= \int_0^\infty \boldsymbol{R}_{pps}(t)\, dt \quad (9) \\ &= \frac{13}{12\lambda} \end{aligned}$$

그리고 보호 시스템의 정상상태의 가용도(steady-state availability:$A(\infty) = A_{ss}$)**는 다음과 같이 쓸 수 있다.**

$$A_{ss-pps} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (10)$$

$MTTR = \frac{1}{\mu}$ **,여기서** μ**는 수리율**(repair rate)**이다.**

그림 3**은 플랜트 보호 시스템의 시간에 따른 신뢰도를 나타내고 있다.** A**는 한 채널의 고장률**(λ)**이** $1*10^{-4}$**일 때이고,** B**는** $2*10^{-4}$ **,그리고** C**는** $3*10^{-4}$**일 때의 신뢰도를 나타낸다.**

그림 4**은 플랜트 보호 시스템의** μ**는 보수율**(maintenance rate)**에 따른 정상상태의 가용도를 나타내고 있다.**

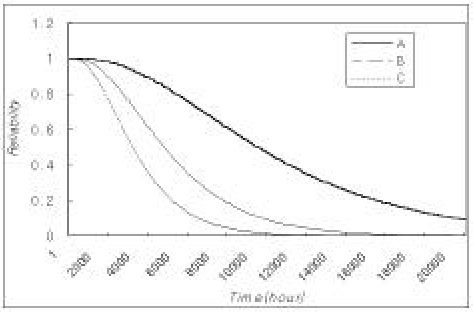


그림 3. pps의 고장률에 따른 신뢰도
(A: $1*10^{-4}$, B: $2*10^{-4}$, C: $3*10^{-4}$)

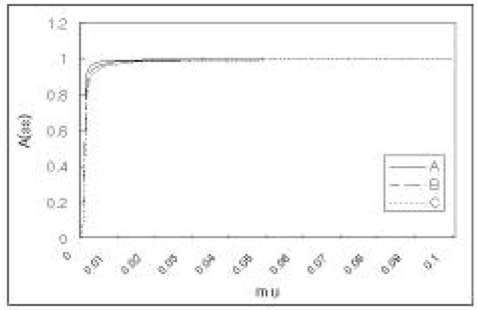


그림 4. PPS 의 MTTR(1/mu)에 따른 정상상태 가용도

2.2 한 채널 Bypass시 보호 시스템의 신뢰도

바이패스는 운전자가 한 채널을 보수유지 위해 또는 운전자의 판단에 따라 시스템의 동작에서 우회(분리)시킬 필요가 있을 때 우회시키는 역할을 하며 한 채널이 바이패스 되었을 때 보호 제어기의 신뢰도 분석을 위한 마르코프 모델(Markov model)이다. 여기서는 2/3의 동시논리로 동작한다. 각 채널 시스템의 고장률을 역시 상수 λ로 가정한다.

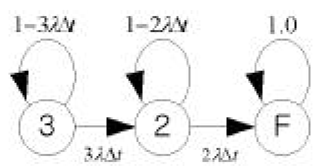


그림 5. 한 채널 바이패스시 PPC의 마르코프 모델

아래 $P(t)$는 시각 t 에 각각의 상태에 있을 확률로 두면, 마르코프 모델에 의한 미분 방정식을 아래 식(11-13)과 같이 둘 수 있다.

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = -3\lambda P_3(t) \qquad (11)$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = 3\lambda P_3(t) - 2\lambda P_2(t) \qquad (12)$$

$$\frac{dP_F(t)}{dt} = 2\lambda P_2(t) \qquad (13)$$

여기서 초기값(t=0)은 다음과 같다.

$P_3(0) = 1,\ P_2(0) = P_F(0) = 0$

그러므로 1채널이 임의로 바이패스 시켰을 때 신뢰도는 각 상태의 P_3와 P_2를 모두 더 하여 식(14)과 같이 나타낼 수 있다.

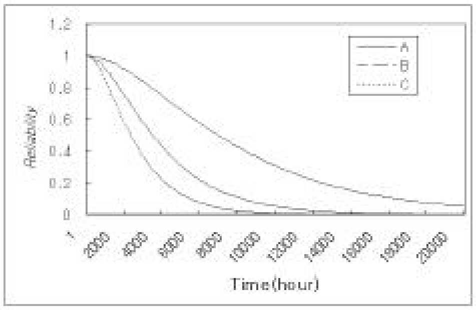
$$\boldsymbol{R}_{bypass} = P_3 + P_2 = 3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t} \qquad (14)$$

그리고 바이패스시 보호 시스템의 MTTF 다음 식(15)와 같이 나타낼 수 있으며, 보호 시스템의 정상상태의 가용도(steady-state availability: $A(\infty) = A_{ss}$)도 역시 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$MTTF_{bypass} = \int_0^\infty \boldsymbol{R}_{bypass}(t)\ dt = \frac{5}{6\lambda} \qquad (15)$$

그림 6은 바이패스된 플랜트 고장 시스템의 시간에 따른 신뢰도를 나타내고 있다. A는 한 채널의 고장률(λ)이 $1*10^{-4}$일 때이고, B는 $2*10^{-4}$,그리고 C는 $3*10^{-4}$일 때의 신뢰도를 나타낸다.

그림 7은 바이패스된 플랜트 고장 시스템의 MTTR(1/μ)에 따른 정상상태의 가용도를 나타내고 있다.



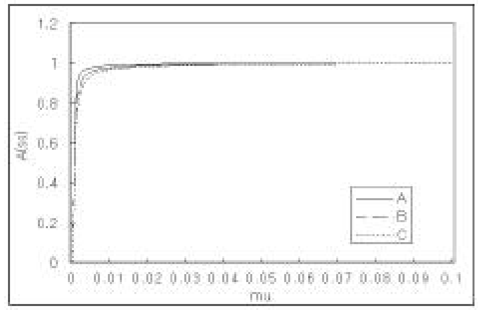
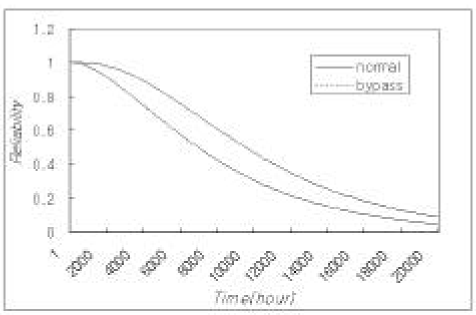


그림 6 바이패스된 PPS의 고장률에 따른 신뢰도 그림 7 Bypassed PPS 의 MTTR에 따른 정상상태 가용도

(A: $1*10^{-4}$, B: $2*10^{-4}$, C: $3*10^{-4}$)

그림 8은 정상상태의 플랜트 보호 시스템과 한 채널 바이패스된 상태에서의 플랜트 보호 시스템의 신뢰도 비교를 나타내었다. 그림 9는 정상상태 가용도를 나타내었다. 여기서 고장률은 $1*10^{-4}$ 이다.



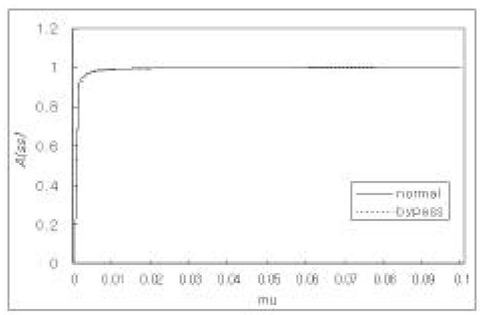


그림 8 normal case PPS 와 bypass case PPS 신뢰도 비교 그림 9 normal case PPS 와 bypass case PPS 가용도 비교

Ⅲ. 문 제 설 정

플랜트 보호 시스템의 목표 신뢰도가 주어졌다고 가정하고 한 채널의 고장률에 따른 전체 신뢰도를 분석한다면 한 채널의 목표 신뢰도를 구할 수 있다. 앞 절에서 1채널의 고장률에 따른 전체 신뢰도를 분석하였다. 그러므로 한 채널의 목표신뢰도를 구할 수 있다.

이 절에서는 한 채널의 목표신뢰도가 주어졌을 때 한 채널의 다중성(Redundancy)를 최적화한다. 한 채널의 다중성을 최적화하여 플랜트 보호 시스템의 전체 신뢰도를 목표 신뢰도에 접근 할 수 있을 것이다.

한 채널은 박스 형태로 각각에 다중성(Redundancy)를 가지는 직렬 조합으로 구성된다. 예를 들면 첫 번째 조합은 아날로그 입력을 디지털로 바꾸어 데이터를 얻어 적절한 처리를 하며, 둘째 조합은 실제 제어 알고리듬으로 구성된 제어기로 구성되며 셋째 조합은 출력 인터페이스기능을 하는 조합으로 간주 할 수 있다.

이 절에서는 한 채널의 주어진 목표 신뢰도를 만족하기 위한 다중성을 최적화에 대한 목적함수를 제안하며, 유전알고리듬을 이용한 최적화를 제안한다. 그림 10은 다중성을 가지는 직렬 박스로 구성된 PPS 한 채널의 블록도이다. 여기서 m1은 첫 번째 조합의 다중화(redundancy) 개수이며, m2는 두 번째 조합의 다중화 개수이며, m3 세 번째 조합의 다중화 개수이다.

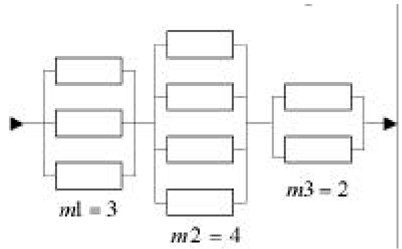


그림 10 다중성을 가지는 직렬 박스로 구성된 PPS 한 채널의 블록도

최적화 문제는 식(16)과 같다. 여기서 m_i는 i번째 조합의 다중화 개수이며, w_i 는 각각에 대한 가중치 값(weight value)이며, 즉 이것은 설계자가 임의의 조합에 가중치를 줄 수 있다. N은 직렬 조합의 개수이다.

$$\text{Minimize } \left\{ \sum_{i=1}^{N} w_i m_i \right\} \tag{16}$$

$$\text{subject to } \prod_{i=1}^{N} R_i(t) \geq R^*$$

$$\text{and } 0 \leq R_i \leq 1 \quad \forall_i$$

여기서 R^*는 한 채널의 목표신뢰도이며 R_i 는 한 채널의 각 i번째 직렬조합의 신뢰도이며, 1/k의 다중성을 갖는다.
식 (16)의 제약 조건을 가지는 최적화 목적함수를 식(17)와 같이 다시 표현한다. 제약조건을 페널티항(ϕ)으로 처리한 목적함수로 표현한다. γ는 페널티항의 가중치이다.

$$\text{Minimize } \left\{ \sum_{i=1}^{N} w_i m_i + \gamma\, \phi\left(\prod_{i=1}^{N} R_i(t)\right) \right\} \tag{17}$$

$$\phi = [\min([\prod_{i=1}^{N} R_i(t) - R^*],\ 0)]^2 \tag{18}$$

위의 최적화 문제를 유전 알고리듬으로 해를 구하기 위하여 목적함수를 식(19)과 같이 최대화 문제로 다시 설정한다. 식 (20)는 적합도를 나타내고 있다.

$$\text{Maximize } \left\{ \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} w_i m_i + \gamma\, \phi\left(\prod_{i=1}^{N} R_i(t)\right)} \right\} \tag{19}$$

$$\text{Fitness} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} w_i m_i + \gamma\, \phi\left(\prod_{i=1}^{N} R_i(t)\right)} \tag{20}$$

Ⅳ. 유전 알고리듬을 이용한 1채널 다중성의 최적화 기법

본 장에서는 유전 알고리듬을 이용한 다중성의 최적화 기법에 대해 설명한다.
다중성의 최적화 목적함수에서는 각각의 다중화에 대해 목적함수가 바뀌므로 미분치를 구하기가 쉽지 않기 때문에 일반적인 최적화기법을 적용하기 보다 이러한 문제를 해결하기 위해 유전 알고리듬을 사용하였다. 유전 알고리듬은 본질적으로 강인하고 전역 최적해에 근사한 값을 결정할 수 있으며, 풀고자 하는 문제에 대한 가능한 해들을 염색체로 표현하고 이를 적당한 알고리듬의 변형으로 최적해를 구해나간다.
자연도태(natural selection)의 유전적인 메카니즘에 기초한 유전 알고리듬은 세대(generation)를 거듭함에 따라 어떤 최적화하는 해에 수렴하는, 또는 도달하는 탐색 알고리듬이다. 탐색 공간이 크거나 분석적으로 해를 찾을 수 없는 문제에 대해 유용한 알고리듬이다.
특히 목적함수의 미분치를 구하기 어렵다거나, 국부 최소점(Local minimum)이 존재할 경우 유용한 알고리듬이다.

일반적인 최적화와 탐색 절차들과의 차이는

1. 최적화를 위한 변수들을 각 변수들의 백터로 구성된 단일 염색체 개체(one-chromosome individual)로 표현하여 사용한다.
2. 단일 점이 아닌, 단일 염색체들로 구성된 해집단(population)으로부터 탐색한다.
3. 도함수나 다른 보조적인 지식이 아닌, 목적함수정보를 사용한다.

유전자 알고리듬을 이용하여 최적해를 구하는 과정은 다음과 같다.

1) 부호화(Coding) : 문제에 따라 다를 수 있겠지만, 보통 2진수를 이용하여 랜덤하게 해집단을 생성시킨다.
2) 평가(Evaluation) : 주어진 목적함수에 대한 각 해의 적합도(fitness)를 평가한다.
3) 복제(Reproduction) : 적합도에 따라 염색체들을 랜덤하게 복제한다. (자연생태계의 적자생존의 원리를 이용한 roulette wheel selection방법을 사용)
4) 교배(Crossover) : 두 부모 염색체를 조합하여 새로운 정보를 가진 자식 염색체를 생성한다.

A1	A2	A3	A4	A5	A6
			←Crossover point		
B1	B2	B3	B4	B5	B6

▶

A1	A2	A3	B4	B5	B6
B1	B2	B3	A4	A5	A6

5) 돌연변이(Mutation) : 염색체의 일부분을 랜덤하게 변화시켜 다양한 해를 구할 수 있다.

C1	C2	C3	C4	C5	C6
		↑			

▶

C1	C2	F3	C4	C5	C6
		↑			

국지 최적해에 빠질 위험이 있으므로 교배와 돌연변이를 이용하여 개체들을 변화시켜 전역적 탐색을 한다. 그리고 특정세대 수행후나 적합도를 평가하여 일정한 세대를 지나도 적합도의 향상이 없을 때 탐색 절차를 끝낸다

Ⅴ.실 데이터를 이용한 모의 1채널 다중성의 최적화

이 절에서는 소자의 실제 고장률을 가지고 모의 한 채널의 다중성을 최적화 한다.
아래에 사용된 고장률은 상용 소프트웨어의 데이터베이스에 의해 주어진 값이다. 그리고 MIL-HDBK-217에 근거하여 구축된 값이며 단위는 10^6 시간을 기준으로 한다.
표 1 은 A/D 컨버터와 전원 등으로 구성된 한 채널의 박스1의 구성부품을 나타내고 있으며, 표 2는 한채널의 박스2의 DSP(320C50)와 메모리, PLD 등으로 구성된 제어 알고리듬을 구현하는 제어기의 부품들로 구성되어 있다. 표 3은 1 채널 박스3의 구성 부품으로 그 외 다른 기능을 한다.

가정:

1. 접합부 (Connection) 고장률은 고려하지 않는다.
2. 동시논리(Voter)의 고장은 제외한다.

표 1 모의 한 채널의 Box 1의 부품 구성품과 고장률

Part Number	기능	고장률 (10^6 hour)	개수	조합 고장률 (10^6 hour)
1674	12bit A/D Converter	0.080981	10	0.80981
7770-12	Dual power supervisor	1.101960	1	1.101960
2860	Power supply controller	0.077565	1	0.077565
2544	Power supply circuit	0.057856	1	0.057856
1 채널 Box1의 전체 고장률 : 2.047193				

표 2 모의 한 채널의 Box 2의 부품 구성품과 고장률

Part Number	기능	고장률 (10^6 hour)	개수	조합 고장률 (10^6 hour)
320C50	DSP processor	0.609501	4	2.438004
27PC256	PROM	0.121793	16	1.948688
62990	Fast SRAM	0.159277	16	2.548432
7064	PLD	0.173746	4	0.694984
7770-12	Dual power supervisor	1.101960	2	2.20392
2860	Power supply controller	0.077565	2	0.15513
2544	Power supply circuit	0.057856	2	0.11573
1 채널 Box2의 전체 고장률 : 10.104888				

표 3 모의 한 채널의 Box 3의 부품 구성품과 고장률

Part Number	기능	고장률 (10^6 hour)	개수	조합 고장률 (10^6 hour)
320C50	DSP processor	0.609501	2	1.219002
27PC256	PROM	0.121793	8	0.974344
62990	Fast SRAM	0.159277	8	1.274216
7064	PLD	0.173746	2	0.347492
7770-12	Dual power supervisor	1.101960	1	1.101960
2860	Power supply controller	0.077565	1	0.077565
2544	Power supply circuit	0.057856	1	0.057856
1 채널 Box3의 전체 고장률 : 5.052435				

표1-3에서 보듯이 각각 박스의 고장률은 차이가 있다. 박스2가 가장 구성 부품이 많으므로 고장률이 높다. 유전알고리듬을 적용하기 위하여 만든 목적함수의 w_i에 디자이너는 각 박스에 가중치를 줄 수 있다. 즉 고가나 구입이 어려운 부품에 가중치를 높게 주면 다중성의 최적화에 가중치가 높게 작용한다. 본 논문에서는 가중치는 $w_1 = 1$, $w_2 = 1$, $w_3 = 1$로 하여 계산되었다. 그리고 퍼널티항의 가중치는 $w_4 = 5 * 10^3$으로 하였다. 표 4은 유전 알고리듬에 사용된 각 파라메터를 나타내고 있다.

표 4 유전 알고리듬의 각 파라메터

Population size	: 100
Probability of crossover P_c	: 0.7
Probability of mutation P_m	: 0.1
Number of generation	:10

한 채널의 목표 신뢰도는 시각 20000(Hour)에서 0.95로 하였다. 그 결과 목적함수의 결과는 0.1429이며, 최적화된 box1의 개수는 1개, box2의 개수는 3개, box3의 개수는 3개로 나타났다. 최적화 결과의 한 채널의 신뢰도(R_{ch-1})는 0.9532로 수렴하였으며. 각 박스의 신뢰도는 R1=0.9599, R2=0.9939, R3= 0.9991으로 나타났다. 그림 11에서 유전알고리듬이 적용된 한 채널 신뢰도의 적합도가 수렴하는 것을 나타내었다.

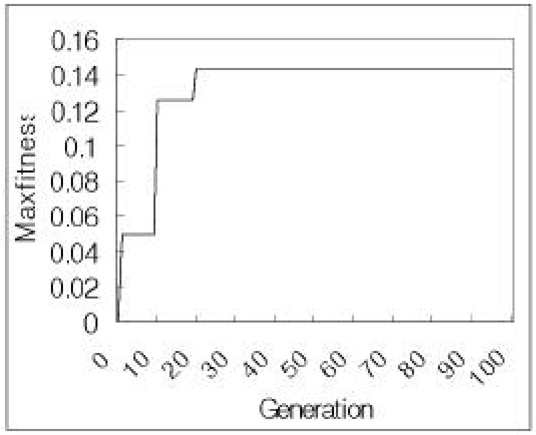


그림 11 유전 알고리듬의 세대에 따른 Maxfitness

Ⅵ. 결 론

시스템의 신뢰도는 중요한 관심사로 등장하게 되었으며 신뢰성에 근거를 둔 시스템의 설계는 중요한 위치를 차지하게 되었다. 본 논문에서는 플랜트 보호시스템의 신뢰도를 분석하고, 신뢰도에 근거한 한 채널에서의 다중성(Redundancy)**최적화를 위한 문제설정과 유전알고리듬으로 이를 최적화를 제안하였다. 실제 고장률**(MIL-HDBK-217)**에 근거를 둔 기기 고장률을 사용하여, 구성된 제어기의 모의** 1**채널의 신뢰도를 위한 다중성을 최적화 함으로써 제안된 문제설정과 최적화기법의 효용성을 확인하였다.**

앞으로 추후 연구과제는 플랜트 보호제어기의 안전공학적 설계에 따른 safety**해석** , voter**의 다중화에 따른 해석, 소프트웨어의 신뢰성에 대한 해석 방법, 제어기 입력 파라메터의 분리** (Segmentation)**에 따른 해석이다.**

Acknowledgement

본 연구는 과학기술부의 원자력연구기술개발사업 일환으로 수행되었다.

참 고 문 헌

[1] Barry W. Johnson , Design and Analysis of Fault Tolerance Digital Systems, Addison Wesley, 1989

[2] **이정찬 외 "노냉각수 제어계통의 신뢰도해석에 관한 연구" 한국원자력학회지** Vol. 15, No. 1, pp. 11 - 12 pages, 1983.

[3] **박경수, 신뢰도 및 보전공학, 영지 문화사** 1999

[4] C. GALIKOWSKY " Optimal redundancies for reliability and availability of series systems" Microelectron. Reliability vol 36 No 10 pp.1537-1546 1996

[5] **구인수 외 , 일체형원자로** MMIS**설계기술 개발** KAERI/RR-1901/98,1999.

[6] **유동완 외**3**명 " 유전 알고리듬을 이용한 자기 동조 퍼지제어기의 하이브리드 최적화 기법", 대한전기학회 논문지** vol 48**권** no 1**호** 1999.1

[7] M. Runwei Cheng., *Genetic Algorithms And Engineering Design,* A Wiley-Interscience Publication, 1996