

분산형 PLC 시스템에서의 고장 허용 제어 A Fault Tolerant Control for Distributed Programmable Logic Controller System

정석권 · 정영미

S. K. Jeong and Y. M. Jeong

Key Words : Distributed PLC System(분산형 PLC 시스템), Fault Tolerant Control(고장 허용 제어) Galois Field(갈루아 계), Parity Output(패리티 출력), Spare Controller(잉여 제어기)

Abstract : This paper describes a fault tolerant control in distributed PLC(Programmable Logic Controller) system to ensure reliability of controllers which have some faults simultaneously. First, the behavior of PLC is modeled as discrete expressions using Galois field. Then, we design the control laws for additional spare controllers to generate parity code with two dimensions. Finally, the algorithm for estimating normal output instead of abnormal output from the controllers with fault is suggested. Comparing to the traditional duplication method, the suggested method can reduce the number of spare controllers significantly to ensure control reliability. This method will be applied to an automatic system in order to increase reliability. Also, it can improve cost performance of the system.

1. 서 언

자동화시스템에서 제어장치의 일부 고장은 전체 시스템의 중단 요인이 되므로 막대한 경제적 손실을 초래하게 된다. 자동화시스템이 점차 대형화, 네트워크화되고 있는 현 실정에서 이러한 고장 발생에 대처할 수 있는 고 신뢰성의 고장 허용 제어 방안이 절실히 요구되고 있다.

본 논문에서는 네트워크 상에 접속된 프로그래머블 로직 컨트롤러(Programmable Logic Controller, 이하 PLC) 시스템의 고장 허용 제어법을 제안한다. PLC는 시퀀스 전용 제어장치로서 내 노이즈성, 경제성, 제어척 변경 용이성 등의 장점으로 인해 CIM(Computer Integrated Manufacturing) 시스템과 같은 자동화시스템의 중추적 제어장치로 널리 사용되고 있다. 특히, 이 시스템은 네트워크 상에 접속된 다수의 PLC 가운데 일부의 제어기에 고장이 발생할 경우, 시퀀스제어의 특성상 다음 단계의 제어가 축차적으로 지장을 받게 되어 전체 시스템의 정지로 이어지는 현실적인 문제

를 다루기에 적절한 연구대상으로 간주할 수 있다.

현재, 대부분의 분산형 PLC 시스템은 요구되는 신뢰 수준에 따라 제어기인 PLC의 2중화나 3중화를 통해 그 신뢰성을 확보하고 있다. 그러나, 이 방법은 전체 제어기 가운데 극히 일부의 고장에 대비해서 전체 제어기의 대수만큼 2중화 또는 3중화를 해야하므로 다수의 제어기를 갖는 시스템 구축시 고비용과 설치장소 문제를 야기시킨다.

이를 해결하는 방안의 하나로 여분의 제어기 1대를 부가적으로 설계하고, 이 여분의 제어기가 패리티(parity) 출력을 발생하도록 함으로써 고장에 대처하는 방식이 제안되어 있다¹⁾. 그러나, 이 방법은 단일 제어기 고장시에는 양호한 대안이 될 수 있으나 복수의 PLC가 동시에 고장을 일으킬 경우에는 대응이 불가능하게 되는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위한 한 방안으로 2차원 패리티 출력을 이용한 고장 허용 제어법을 제안한다.

우선, PLC 시스템을 이산 시스템(discrete system)으로 모델링하고, 부가한 잉여 제어기 한대의 1차원 패리티를 이용하여 단일 고장에 대한 고장 허용 제어법을 보인다. 다음, 복수의 고장에 대응할 수 있도록 부가해야할 전체 제어기의 대수를 어떻게 결정할 수 있는지를 검토한다. 그리고, 부가된 잉여 제어기의 2

접수일 : 2003년 11월 5일
정석권(책임저자) : 부경대학교 기계공학부
E-mail : skjeong@pknu.ac.kr
정영미 : 부경대학교 대학원 메카트로닉스공학과

차원적인 배열 방법과 패리티 출력을 위한 제어척을 설계한다. 끝으로, 원격 I/O(Remote Input/Output)에 대한 설계를 행하고 이를 통해 복수 제어기의 동시 고장시에도 고장 허용 제어가 가능함을 보인다.

2. 고장 허용 제어기 설계

2.1 분산형 PLC 시스템과 동작 모델링

N 대의 분산형 PLC 시스템은 Fig. 1에서와 같이 네트워크 상에 접속된 독립 프로그램을 갖는 PLC 등으로 구성되어 있다. 이 시스템은 네트워크 상에서 실시간 정보 공유가 가능하므로 고장 발생시 네트워크를 통해 고장 대응을 할 수 있다. 또한, 시스템은 각 제어장치가 원격 I/O와 공통의 네트워크에 접속되어 있으며, 제어기의 제어척은 0과 1의 이산량만을 취하는 것으로 간주한다.

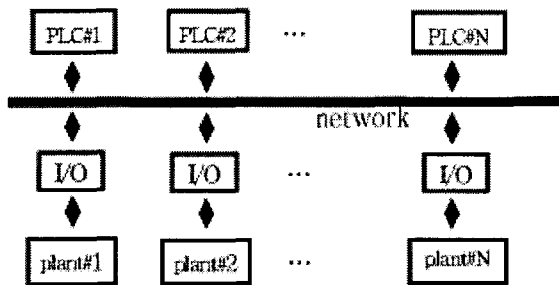


Fig. 1 A model of distributed PLC system

PLC의 동작은 Fig. 2와 같이 사이클릭(cyclic) 처리로써, 최초에 입력(input), 다음 처리(process) 단계를 거쳐 최종 결과를 출력(output)한다.

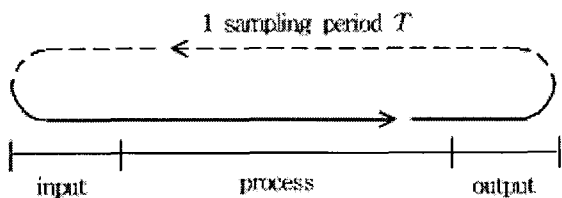


Fig. 2 Cyclic process in PLC

Fig. 3은 PLC의 입력, 내부 상태 및 출력이 샘플링 시각에 따라 각각 어떻게 변화하는가를 나타낸다. 샘플링 시각 kT 에서 PLC의 입력, 상태 및 출력을 각각 $u(k)$, $x(k)$, $y(k)$ 로 가정한다.

이 그림에서 입력, 처리, 출력의 각 단계에는 시작점과 끝점을 표시하여 각 단계에 대한 개시점과 종료점을 구분하였다. 또한, 입력은 입력 수집기간

중에는 일정하며, 상태 및 출력은 출력기간의 시작부터 입력 수집기간의 마지막까지 일정하다고 가정한다. 즉, 입력, 상태 및 출력이 변하는 것은 점선으로 표시한 부분으로 한다.

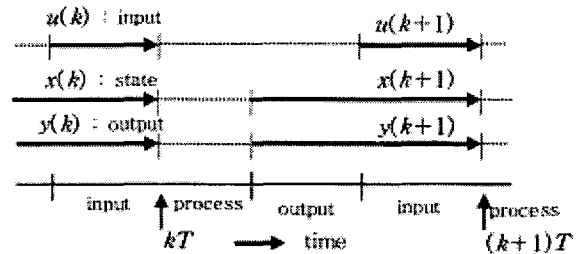


Fig. 3 Variation of parameters according to a sampling time

PLC의 상태추이가 외부사상구동형일 경우, 샘플링 시각 $(k+1)T$ 직전의 상태 $x(k+1)$ 은 전 단계의 상태 $x(k)$ 와 입력 $u(k)$ 의 함수로 표현할 수 있다. 또, 각 샘플링 시각 직전에서의 출력은 동일한 시각의 상태와 입력으로 표현된다. 따라서, i 번째 PLC의 동작은 부울대수 표현을 이용하면 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다²⁾.

$$x_i(k+1) = f_{B_i}\{x_i(k), u_i(k)\}, k=0,1,2\cdots$$

(1)

$$y_i(k) = h_{B_i}\{x_i(k), u_i(k)\}$$

(2)

단, x_i 는 i 번째 제어기의 n_i 차원의 상태 벡터, u_i 는 m_i 차원의 입력 벡터, y_i 는 p_i 차원의 출력 벡터이다. 또한, 함수 f_{B_i} , h_{B_i} 는 부울대수 연산으로 정의되는 함수로서 논리합(OR) '∨'와 논리곱(AND) '∧' 및 부정(NOT) '¬'로 구성된다.

부울대수는 연산의 특성상 거리가 정의되지 않으므로 위의 차분방정식을 해석하는 데에는 적합하지 않다. 그러므로 이하에서는 이 부울대수 연산을 0과 1을 요소로 하되, 사칙연산이 정의될 수 있는 등가적인 표수(2)의 갈루아체(Galois field) GF(2)의 표현으로 변환시킨다³⁾. GF(2)는 일반적인 정수 연산에 대해 2의 잉여 계산을 적용시킨 결과를 그 값으로 한다.

Table 1은 부울대수의 기본 연산과 표수(2)의 갈루아체 연산을 비교한 것이다.

임의의 요소(a, b)에 대한 부울대수 표현을 등가적인 갈루아체 표현으로 변환하면 그 변환식은

Table 1에 의해 (3)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} a \vee b &\rightarrow a + b + ab \\ a \wedge b &\rightarrow ab \\ \overline{a} &\rightarrow 1 + a \end{aligned} \quad (3)$$

Table 1 Boolean algebra and Galois field
(a) Arithmetic in Boolean algebra

		$a \vee b$	
		a	b
a	b	0	1
0	0	0	1
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	1	1

		$a \wedge b$	
		a	b
a	b	0	1
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	0	1

(b) Arithmetic in Galois field

		$a + b$	
		a	b
a	b	0	1
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	0

		$a \times b$	
		a	b
a	b	0	1
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	1
1	1	0	1

		$a - b$	
		a	b
a	b	0	1
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	0

		$a \div b$	
		a	b
a	b	0	1
0	0	-	0
0	1	-	0
1	0	-	1
1	1	-	1

부울대수 연산으로 표현된 상태함수 f_B 와 출력함수 h_B 를 갖는 식 (1)과 (2)는 식 (3)에 의해 식 (4)와 (5)로 각각 변환된다.

$$x_i(k+1) = f_i\{x_i(k), u_i(k)\} \quad (4)$$

$$y_i(k) = h_i\{x_i(k), u_i(k)\} \quad (5)$$

여기서, f_i, h_i 는 갈루아체 GF(2) 연산 함수를 나타낸다.

2.2 단일의 PLC 고장에 대한 고장 허용 제어기 설계

우선, 패리티 출력에 의한 단일 제어기 고장 허용 제어에 대해 설명하고, 이를 2차원직으로 확장하여 복수 제어기 고장 허용 제어에 적용한다.

Fig. 1에서 N대의 제어기 가운데 임의의 PLC 한대에 고장이 발생한 경우를 상정한다. 이 경우, Fig. 4의 점선부 (a)와 같이 한 대의 잉여 제어기 PLC#N+1을 추가로 네트워크에 부가한다. 그리고, 이 제어기가 나머지 제어기의 출력에 대해 동적으로 패리티 출력을 발생하도록 잉여 제어기의 제어

칙을 식 (6) 및 식 (7)과 같이 설계한다.

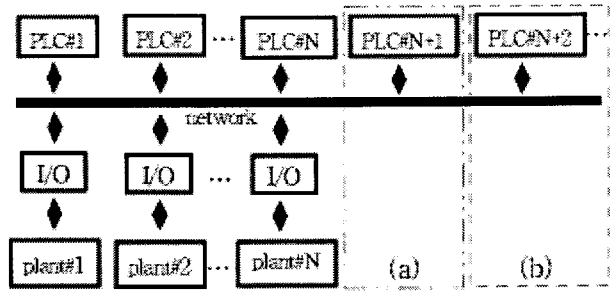


Fig. 4 Addition of spare controllers

$$x_{N+1}(k+1) = f_{N+1}\{x_{N+1}(k), u_{N+1}(k)\} \quad (6)$$

$$y_{N+1}(k) = h_{N+1}\{x_{N+1}(k), u_{N+1}(k)\} \quad (7)$$

여기서, $x_{N+1}(k), u_{N+1}(k)$ 는 N대 전체 PLC의 상태 벡터를 갖는 확장된 상태 벡터와 입력 벡터로서 식 (8) 및 식 (9)와 같이 표현된다. 또한, 식 (7)의 함수 f_{N+1} 은 $f_{N+1} = [f_1, f_2, \dots, f_N]^T$ 로서 전체 PLC의 함수로부터 구할 수 있다. 출력 벡터의 차원은 전체 PLC의 출력 벡터 차원 중, 최대 차원인 $p_{N+1} = \max(p_1, p_2, \dots, p_N)$ 와 같이 취한다.

$$x_{N+1}(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_N(k)]^T \quad (8)$$

$$u_{N+1}(k) = [u_1(k), u_2(k), \dots, u_N(k)]^T \quad (9)$$

여기서 $x_{N+1}(k) \in GF(2)^{n_{N+1}}$, $u_{N+1}(k) \in GF(2)^{m_{N+1}}$ 이며, n_{N+1}, m_{N+1} 은 각각 다음과 같이 표현된다.

$$n_{N+1} = n_1 + n_2 + \dots + n_N, \quad m_{N+1} = m_1 + m_2 + \dots + m_N$$

또한 출력 함수 h_{N+1} 은 식 (10)과 같이 설계한다.

$$h_{N+1} = h_1 + h_2 + \dots + h_N \quad (10)$$

식 (10)을 이용하면 패리티 조건을 만족시키는 동적인 출력이 발생가능하며 식 (5)와 (10)에 의해 다음 식이 성립함을 알 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{N+1} y_i(k) = 0 \quad (11)$$

만약, i번째의 제어기가 시간 $t \geq t_i$ 에 있어서 고장이 발생하여 그 출력 $y_i(t)$ 가 오류 신호를 내는 경우를 고려한다. i번째 제어기의 고장이 원격 I/O에 의해 검출 가능하다고 가정하고, 그 고장 플

태그를 $\theta_i(t)=1$ 로 정의한다. 이때, i 번째 제어기의 출력 추정치는 식 (12)로 구할 수 있다.

$$\hat{y}_i(t) = (1 - \theta_i(t))y_i(t) + \theta_i(t) \sum_{j \neq i}^{N+1} y_j(t) \quad (12)$$

이 식으로부터 고장이 발생하지 않은 경우에는 $\theta_i(t)=0$ 이 되어 $\hat{y}_i(t)=y_i(t)$ 임을 알 수 있다. 그리고, 고장이 발생한 경우에는 $\theta_i(t)=1$ 이 되므로, 식 (7)에 의해 식 (13)과 같이 표현되어지며, 이는 고장을 일으킨 i 번째 제어기가 정상적으로 출력해야 할 값을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{y}_i(t) &= \sum_{j \neq i}^{N+1} y_j(t) \\ &= h_i\{x_i(t), u_i(t)\} \end{aligned} \quad (13)$$

따라서, i 번째 원격 I/O에 식 (12)의 출력 추정이 가능한 소규모의 논리회로를 장착하면 고장 제어기가 출력해야 할 정상적인 출력을 얻는 것이 가능하게 된다.

2.3 복수의 PLC 고장에 대한 고장 허용 제어기 설계

분산형 PLC 시스템에서 복수의 제어기가 동시에 고장을 일으킬 경우를 상정한 고장 허용 제어법을 검토한다. 이는 2.2절에 적용된 1차원 패리티를 2차원 패리티 개념으로 확장함으로써 얻어질 수 있다.

이 방법은 Fig. 4의 (a), (b)와 같이 잉여 제어기인 PLC#N+1, PLC#N+2 ...를 다수 추가하여 설계하게 된다. 이때 추가해야 할 잉여 제어기의 대수는 PLC 시스템을 구성하는 전체 제어기의 대수에 의존하게 된다. 그리고, 만약 전체 시스템을 구성하는 PLC의 수가 3대 이하일 경우, 잉여 제어기를 설계하는 방법과 기존의 2중화 방안이 거의 같게 되어 가격, 설치장소 등의 면에서 차별화 되지 않는다. 그러므로 이하에서는 최소 4대 이상의 PLC로 구성된 시스템을 가정하여 필요 최소한의 잉여 제어기를 구하는 방법에 대해서 검토한다.

필요 최소한의 잉여 제어기의 대수는 다음의 [정의]를 이용하여 구할 수 있다.

[정의] 전체 PLC의 대수 N 에서 정수 c 를 뺀 $N-c$ 가 행렬 $a \times b$ 를 구성할 때, $a + b + c$ 의 값이 최소로 되는 a, b, c 이면 $a + b + c$ 를 잉여 제어기의 최소 대수로 한다. 단, $0 \leq c \leq 3$,

$2 \leq a < N, 2 \leq b < N$ 인 정수이다.

[정의]에서 c 는 본 논문에서 제안하고 있는 잉여 제어기에 의한 고장 허용 제어 대신에 기존의 2중화 형식으로 추가해야 할 잉여 제어기의 수이다. 따라서, $a + b + c$ 는 이 2중화 제어기를 포함한 전체 잉여 제어기의 최소한의 수를 나타낸다. 결과적으로 2차원 패리티를 출력할 PLC의 대수는 $a + b$ 로 된다.

a 와 b 는 $N-c$ 대의 제어기를 Fig. 5와 같이 a 행 b 열의 행렬로 배치하였을 때 각 행과 열에 부가될 잉여 제어기의 수를 나타낸 것으로 점선부 내에 표시되어 있다.

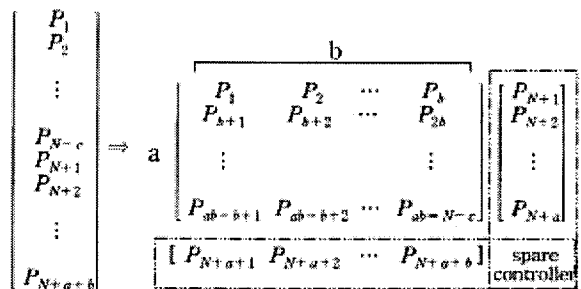


Fig. 5 Two dimensional array of spare controllers

Fig. 6은 PLC 시스템의 제어기 수 N 을 6부터 400까지로 가정하여 부가해야 할 잉여 제어기의 수를 [정의]에 의해 계산한 결과이다.

그림에서 2중화를 해야 할 제어기의 수 c 는 제외되었다. 이 결과로부터 시스템 전체의 제어기 수가 400대일 경우, 부가해야 할 잉여 제어기의 수는 45대 이내임을 알 수 있다.

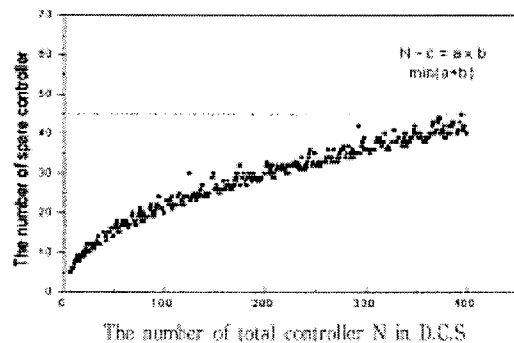


Fig. 6 Estimation of the number of spare controller

100대의 PLC 시스템을 가정하면 20대 정도의

잉여 제어기로 충분하므로 전체 제어를 2중화하는 기존의 방식에 비해 약 20[%]의 잉여 제어기만으로도 고장 대응이 가능함을 알 수 있다.

잉여 제어기에 대한 제어칙은 각 행과 열에 부가된 잉여 제어기가 그 행과 열의 다른 제어기의 출력에 대해 동적으로 수평과 수직 패리티 출력을 발생하도록 설계한다.

우선, 임의의 l 행 잉여 제어기의 제어칙은 수평 패리티 출력이 발생되도록 식 (14), (15)와 같이 설계한다. 여기서, l 는 $1 \leq l \leq a$ 인 정수이다.

$$x_{N+l}(k+1) = f_{N+l}\{x_{N+l}(k), u_{N+l}(k)\} \quad (14)$$

$$y_{N+l}(k) = h_{N+l}\{x_{N+l}(k), u_{N+l}(k)\} \quad (15)$$

또한, $x_{N+l}(k), u_{N+l}(k)$ 는 식 (16), (17)과 같다.

$$x_{N+l}(k) = [x_{(l-1)b+1}(k), x_{(l-1)b+2}(k), \dots, x_{(l-1)b+l}(k)]^T \quad (16)$$

$$u_{N+l}(k) = [u_{(l-1)b+1}(k), u_{(l-1)b+2}(k), \dots, u_{(l-1)b+l}(k)]^T \quad (17)$$

여기서, $x_{N+l}(k) \in GF(2)^{n_{N+l}}$, $u_{N+l}(k) \in GF(2)^{m_{N+l}}$ 이고, n_{N+l}, m_{N+l} 은 다음과 같다.

$$n_{N+l} = n_{(l-1)b+1} + n_{(l-1)b+2} + \dots + n_{(l-1)b+l}$$

$$m_{N+l} = m_{(l-1)b+1} + m_{(l-1)b+2} + \dots + m_{(l-1)b+l}$$

식 (16)은 l 행 전체 PLC의 상태 벡터를 갖는 확장된 상태 벡터이고, 식 (17)은 l 행 전체 PLC의 입력 벡터를 갖는 확장된 입력 벡터이다.

상태 함수 식 (18)은 l 행 전체 PLC의 상태 함수로 이루어진다.

$$f_{N+l} = [f_{(l-1)b+1}, f_{(l-1)b+2}, \dots, f_{(l-1)b+l}]^T \quad (18)$$

출력 벡터의 차원은 전체 PLC 시스템의 출력 벡터의 차원 가운데 최대의 것을 가지는 것으로, 그 차원은 다음과 같다.

$$p_{N+l} = \max\{p_{(l-1)b+1}, p_{(l-1)b+2}, \dots, p_{(l-1)b+l}\}$$

한편, 출력 함수 h_{N+l} 는 다음과 같이 설계한다.

$$h_{N+l} = h_{(l-1)b+1} + h_{(l-1)b+2} + \dots + h_{(l-1)b+l} \quad (19)$$

이와 같은 출력 함수의 설계에 의해 식 (20)과 같이 행에 대한 패리티 조건을 만족하는 동적인 출력을 발생할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^b y_{(l-1)b+i}(k) + y_{N+l}(k) = 0 \quad (20)$$

다음, 임의의 r 열에 대해서도 행에서의 설계와 같은 방법으로 수직 패리티 출력이 발생하도록 잉여 제어기의 제어칙을 식 (21), (22)와 같이 설계한다. 여기서, r 은 $1 \leq r \leq b$ 인 정수이다.

$$x_{N+a+r}(k+1) = f_{N+a+r}\{x_{N+a+r}(k), u_{N+a+r}(k)\} \quad (21)$$

$$y_{N+a+r}(k) = h_{N+a+r}\{x_{N+a+r}(k), u_{N+a+r}(k)\} \quad (22)$$

r 열 전체 PLC의 확장된 상태 벡터와 입력 벡터는 식 (23), (24)와 같이 각각 정한다.

$$x_{N+a+r}(k) = [x_r(k), x_{b+r}(k), \dots, x_{(a-1)b+r}(k)]^T \quad (23)$$

$$u_{N+a+r}(k) = [u_r(k), u_{b+r}(k), \dots, u_{(a-1)b+r}(k)]^T \quad (24)$$

$x_{N+a+r}(k) \in GF(2)^{n_{N+a+r}}$, $u_{N+a+r}(k) \in GF(2)^{m_{N+a+r}}$ 이고, x_{N+a+r}, u_{N+a+r} 는 다음과 같이 정의된다.

$$n_{N+a+r} = n_r + n_{b+r} + \dots + n_{(a-1)b+r}$$

$$m_{N+a+r} = m_r + m_{b+r} + \dots + m_{(a-1)b+r}$$

또한, 열 전체 PLC의 상태 함수는 식 (25)와 같다.

$$f_{N+a+r} = [f_r, f_{b+r}, \dots, f_{(a-1)b+r}]^T \quad (25)$$

출력 벡터의 차원은 전체 PLC 시스템의 출력 벡터의 차원 가운데 최대의 것을 가지는 것으로 $p_{N+a+r} = \max\{p_r, p_{b+r}, \dots, p_{(a-1)b+r}\}$ 이다. 한편, 출력 함수 h_{N+a+r} 는 다음과 같이 설계한다.

$$h_{N+a+r} = h_r + h_{b+r} + \dots + h_{(a-1)b+r} \quad (26)$$

이러한 출력 함수의 설계에 의해 식 (27)과 같이 열에 대한 패리티 조건을 만족하는 동적인 출력을 발생할 수 있다.

$$\sum_{j=0}^{a-r} y_{j+b+r}(k) + y_{N+a+r}(k) = 0 \quad (27)$$

Fig. 7은 전체 PLC의 제어기 총 수에 대하여 각 행과 열에 부가된 잉여 제어기 한 대가 페리티 출력력을 위해 담당해야할 제어기의 수를 나타낸다.

제어기의 총 수가 400대일 경우, 잉여 제어기 한대가 담당해야할 제어기는 대략 30대 이내임을 알 수 있다.

i 번째 제어기의 고장이 발생하였을 경우의 고장 플래그를 $\theta_i(t)=1$ 로 정의한다. 이 때, i 번째 제

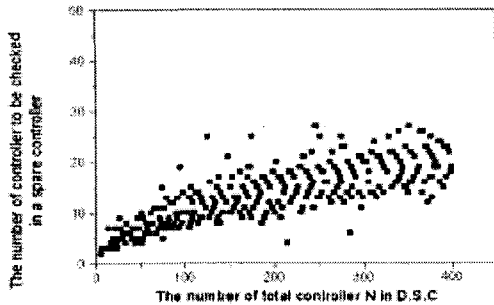


Fig. 7 The number of controller to be checked in a spare controller

어기의 정상적인 추정치 $\hat{y}_i(t)$ 는 아래의 알고리즘에 의해 구해질 수 있다.

[알고리즘]

```

R: for (k=1; k≤a; k++) {
    r_k = ∑_{p=1}^k θ_{(k-1)p+p}
    if r_k = 1 {
        θ_r = 1
        Y_r = ∑_{p=1, p≠k}^k Y_{(k-1)p+p} + Y_{N+k}
        θ_r = 0
    }
}

C: for (l=0; l≤b; l++) {
    c_l = ∑_{q=0}^{a-1} θ_{ql+l}
    if c_l = 1 {
        θ_c = 1
        Y_c = ∑_{q=0, q≠l}^{a-1} Y_{ql+l} + Y_{N+a+l}
        θ_c = 0
    }
}
go to R
    
```

알고리즘의 내용은 우선, i 번째 제어기의 고장이 감지되면 $\theta_i(t)=1$ 로 변환된다. 복수의 제어기에서 동시에 고장이 발생할 수 있으므로 고장이 발생된 제어기의 값을 추정하기 위해 각 행과 열에

대해 고장 개수를 검사한다. 행과 열 가운데 행을 우선으로 하고 고장이 하나만 발생한 행이나 열이 존재할 경우, 그 제어기의 추정치 $\hat{y}_i(t)$ 를 먼저 구한다. 추정치가 구해진 제어기의 고장을 제외하고 다시 나머지 행과 열에 대해 축차적으로 추정치를 구한다.

이와 같은 알고리즘을 구현할 수 있는 논리회로를 원격 I/O에 부가하면 오류 신호를 출력하는 복수의 제어기를 대신하여 정상적인 출력 추정치를 얻을 수 있다.

본 논문에서 제안하는 방법은 수직, 수평 페리티 출력력을 이용하여 고장이 발생한 제어기의 출력치를 추정하기 때문에 행과 열의 동일한 위치에 각각 두 개 이상의 고장이 중첩되어 동시에 발생하였을 때는 출력 추정이 어려운 단점이 있다.

3. 결 언

본 연구에서는, 분산형 PLC 시스템에서 단일 제어기의 고장뿐만 아니라 복수 제어기의 동시 고장에 대해서도 적용 가능한 고장 허용 제어법을 제안하였다. 이를 위해 제어기의 총 수에 따라 필요 최소한의 잉여 제어기의 수를 결정하고, 이들이 2차원 페리티 출력을 발생할 수 있도록 수평 및 수직 페리티를 발생하는 제어책을 설계하였다. 마지막으로 원격 I/O의 설계를 통해 고장 허용 제어가 가능함을 이론적으로 증명하였다. 본 연구에서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 복수 제어기의 동시 고장에 대응하기 위해 부가해야할 잉여 제어기의 수는 기존의 전체 제어기의 2중화 방식에 비해 대략 1/5 정도로 줄일 수 있음을 알 수 있었다.
2. 행과 열에 배치된 잉여 제어기가 페리티 출력을 위해 담당해야할 제어기의 총 수는 100대로 구성된 시스템일 경우, 총 제어기 수의 1/10 수준인 10대 정도로 한정되었다.
3. 수평, 수직 페리티 출력과 원격 I/O 용의 출력 추정 알고리즘을 이용하여 복수 제어기의 동시 고장에 대응한 고장 허용 제어가 가능하였다.

이상의 검토를 통해 제안된 방법은 분산형 PLC 시스템에 있어서 복수 제어기의 동시 고장에 대해 기존의 2중화 전략에 비해 현저히 제어기 수를 줄일 수 있는 방안임을 알 수 있다. 이로써 2중화에

따른 제어기의 설치 장소의 제약 문제와 가격 상승 문제를 동시에 해결할 수 있을 것으로 기대가 된다.

향후, 제시된 알고리즘을 구현할 수 있는 원격 I/O에 대한 논리 회로 검토, 같은 행과 열의 동일 위치상에 발생하는 2개 이상의 동시 고장 문제의 해결 방안, 그리고 실제 네트워크에서의 실증 등의 추가적인 연구를 진행하고자 한다.

사 사

이 논문은 2002년도 1학기 부경대학교 연구년교수지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. Y. Fujimoto and T. Sekiguch, 2001, "Fault Tolerant Configuration of Distributed Discrete Controllers", T. IEE Japan, Vol. 121-D, No. 3, pp. 1~5.
2. 정석권, 양주호, 유삼상 공역, 2002, "시퀀스 제어공학", 인터비전, pp. 28~33.
3. H. Imai, 1991, "정보이론", 소광당, pp. 132~139, pp. 164~167.
4. 진재현, 탁면재, 1996, "Parity Space 방법을 이용한 제어시스템의 고장진단", 한국항공우주학회지, 제24권, 제2호, pp. 116~124.
5. M. A. Demetriou and M. M. Polycarpou, 1998, "Incipient Fault Diagnosis of Dynamical Systems Using Online Approximators", IEEE Trans. on AC, Vol. 43, No. 11, pp. 1612~1617.
6. H. Wang and S. Daey, 1996, "Actuator Fault Diagnosis: An Adaptive Observer-Based Technique", IEEE Tran. on AC, Vol. 41, No. 7, pp. 1073~1078.
7. 이기상, 1999, "고장검출진단 및 고장허용제어의 개념과 동향", 대한전기학회지, 제48권, 제4호, pp. 4~8.
8. 손원기, 권오규, 1999, "이상허용제어에 관한 연구동향", 대한전기학회지, 제48권, 제4호, pp. 28~34.
9. 이원용, 1999, "공조설비의 고장 진단 기술", 대한전기학회지, 제48권, 제4호, pp. 35~42.
10. 이홍재, 1999, "진력계통분야에서의 고장진단 기술 현황", 대한전기학회지, 제48권, 제4호,

pp. 43~49.

11. 김지홍 등, 1987, "발전기 보일러제어기에 적용한 Fault Tolerant Control System의 연구", 전자공학회지, 제24권, 제1호, pp. 28~34.
12. 신규식, 이병주, 김희국, 1996, "고장에 대한 내성을 갖는 로봇 매니플레이터시스템의 개발에 관한 최근 연구동향", 제어·자동화·시스템공학회지, 제2권, 제3호, pp. 25~41.