

유한상태기계에 기반한 확장된 I-O 모델링 방법론

오수연 · 왕지남 · 김기형 · 김강석[†]

An Extended I-O Modeling Methodology based on FSM

Soo-Yeon Oh · Gi-Nam Wang · Ki-Hyung Kim · Kangseok Kim[†]

ABSTRACT

Recently manufacturing companies have used PLC control programs popularly for their automated production systems. Since the life cycle of production process is not so long, the change of the production lines occur frequently. Most of changes happen with modification of the position information and control process of the equipment. PLC control program is also modified based on the fundamental process. Therefore, to verify new PLC program by configuring virtual space according to real environment is needed. In this paper we show a logical modeling method, based on Timed-FSA useful for sequence control and dead-lock prevention. There is a problem wasting user's labor and time when defining a variety of states in a device. To overcome this problem, we propose an extended I-O model based on existing methods by adding a token concept of Petri Nets. Also we will show the usability of the extended I-O modeling through user study.

Keywords : PLC, Coloured Petri Nets, I-O Modeling

요약

최근 자동 생산 시스템은 PLC (Programmable Logic Controller) 제어 프로그램을 일반적으로 사용하고 있다. 생산 제품의 수명 주기가 길지 않기 때문에 공법과 라인 및 설비 변경이 자주 일어난다. 대부분, 기존 공정을 바탕으로 이루어지고 설비의 위치 및 제어정보를 수정한다. PLC 제어 프로그램 또한 기존 공정을 바탕으로 수정이 이루어진다. 새로운 제어 프로그램을 검증하기 위해서는 실제 생산 시스템을 구축하기 전에 가상의 공간에서 실제 공정과 같이 구성하여 순차적으로 공정이 진행되는 지 확인할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구는 순차제어(sequential control)와 병목현상 처리에 유용한 Timed-FSA를 기반으로 하는 논리적인 모델링 방법을 사용한다. 기존에 연구되었던 I-O 모델링과 I-O 모델링에서 요구되었던 하나의 설비에 다양한 상태의 정의를 통해 사용자의 시간과 공수를 절감하기 위한 기존 모델링에 페트리네트의 토큰(Petri Nets Coloured Token) 개념을 추가한 확장된 I-O 모델링 방법을 제안한다. 예제 설비를 통하여 사용자의 모델링 시간을 절감하는 실험과 사용자 평가를 통해 제안하는 확장된 I-O 모델링의 편의성을 검증한다.

주요어 : PLC, 컬러드 페트리네트(Coloured Petri Nets), I-O 모델링

* 이 논문은 아주대학교 대학원 지식정보공학과 석사논문 연구 결과로 작성되었습니다.

* 이 연구는 미래창조과학부의 2015년 고용계약형 SW 석사과정 지원 사업을 지원 받아 수행한 결과입니다. (H0116-15-1006)

Received: 11 July 2016, **Revised:** 20 September 2016,

Accepted: 3 November 2016

† Corresponding Author: Kangseok Kim

E-mail: kangskim@ajou.ac.kr

Cyber Security Dept., Ajou University, Suwon, Korea

1. 서론

1.1 연구 배경

PLC (Programmable Logic Controller) 제어 프로그램을 검증하기 위한 시물레이션은 실제 공정을 구축하기 전에 이루어지는 시스템으로, 시간과 인력, 경비를 절감하고 사람의 신체적 위험 없이 컴퓨터 모델로 검증할 수 있는 이점을 가지고 있다(Goo et al., 2008).

본 연구는 PLC의 입, 출력 신호를 이용하여 Timed-FSA를 기반으로 한 I-O 모델링 방법을 사용하여 상태를 정의하였다. 그러나 상태 기반이라는 제약성으로 모델링의 유연성이 부족하였다. 하나의 상태가 정의되면 그에 맞는 입력 신호와 출력 신호를 부여하는 방식이었다. 이때 하나의 상태에 직접 이벤트를 부여하기 때문에 하나의 설비에 다양한 상태가 있을 경우 여러 번 모델링을 해야 한다. 또한 자주 사용되는 모델링의 경우, 시뮬레이션 할 때 마다 다시 정의를 해야 하는 공수가 발생했다.

1.2 연구 목적

기존의 상태 기반 모델링의 제약성과 표현적 한계를 보완하기 위해 토큰이라는 개념을 사용하여 언어의 표현 능력을 확장하고 자주 사용하는 설비들을 사전에 정의하여 사용하는 설비 라이브러리 시스템을 제안한다. 하나의 설비가 다양한 상태를 가지게 되면 그만큼 상태 정의와 이벤트, 입력과 출력 신호를 정의해야 했던 사용자의 공수와 시간이 낭비 되었다. 이러한 기존 모델링 시스템의 문제점을 보완하기 위해 토큰이라는 개념을 추가하여 이벤트 발생 주체가 상태가 아닌 토큰이 되어 한 상태에 다양한 토큰을 정의하여 기존에 발생했던 문제점을 보완할 수 있다. 또한 자주 사용하는 설비를 사전에 정의해 놓는 설비 라이브러리화로 사용자의 공수를 감소시켜서 작업의 편리성을 향상 시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이론적 배경을 설명하고 3장에서는 기존 모델링 방법과 제안 모델링 방법을 비교 분석한다. 4장에서는 기존 모델링과 제안 모델링을 사용할 때 시간 및 공수 절감 비교실험과 사용자 평가를 통하여 결과를 도출하고 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대해서 설명한다.

2. 이론적 배경

2.1 FSA의 정의 및 특징

FSA (Finite State Automata)는 유한개의 정보를 읽고 제어 프로그램에 의해 신호와 상태들의 제어를 설계하는 수학적 모델이다(Choi et al., 2007). FSA는 유한 상태들의 집합과 전이함수(transition function) 집합으로 구성되어 있고 ‘전이’ 라는 집합으로 부터 선택된 입력 신호에 의해 발생하는 한 상태에서 다른 상태로 변화하는 상태 기계이다(Choi et al., 2007). 이산 사건 시스템의 모델은 Un-timed model과 Timed model로 나뉘는데 전자는 이벤트 발생에 따른 시간과 부가 정보가 정의되지 않은 상

태에서 사용되는 모델이고 후자는 내부 이벤트가 시간과 연계되는 모델이다(Jung et al., 2007). FSA를 통한 일반적인 모델은 이산사건에 따른 상태정의와 상태전이 함수를 쉽게 표현할 수 있으며, Timed-FSA는 병목현상과 순차제어에 유용한 시간 함수의 개념이 추가된 모델이다(Choi et al., 2007).

2.2 PLC의 정의 및 특징

PLC는 릴레이 회로를 보다 넓게 운영하는 시스템으로 제어반의 단점이었던 신뢰성 저하와 제어 시스템 변경 등의 문제점을 극복하기 위해 제어반 내의 기능을 순차 제어로 그리고 수치 연산 기능의 프로그램 제어가 가능한 장치이다(Lee et al., 2009; Park et al., 2009).

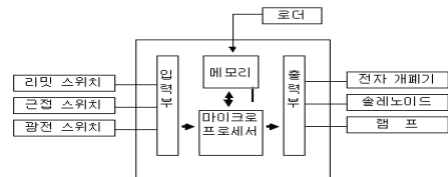


Fig. 1. Full configuration of PLC

PLC는 Figure 1과 같이 입력부는 PLC가 제어 동작을 수행하기 위하여 스위치나 센서 상태를 입력 받는 부분이다. 출력부는 PLC의 제어 결과를 출력하는 부분으로 솔레노이드 밸브나 램프를 동작시켜 실린더나 모터, 전등을 켜거나 끄도록 한다(IEC, 2002).

3. 제안 모델링

3.1 기존 및 제안 모델링의 정의 및 특징

기존 및 제안 모델링은 Timed-FSA 이론에 기반 한 모델링이다. 기존 방법은 FSA 형태로 모델링(Park et al., 2008)을 하며, PLC Studio를 사용한다. 기존 I-O 모델링을 확장한 I-O 모델링을 제안하고 두 모델링의 특징을 비교 분석했다. I-O 모델은 상태 중심 모델링이다(Choi et al., 2007). 자동화 라인의 설비들은 상태를 기반으로 시뮬레이션을 하게 된다. 설비의 동작을 상태로 지정해서 어떤 신호들을 입력받고 어떤 신호를 출력할지에 대한 상태를 정의한다. 즉, 이벤트 발생의 주체가 상태 기준이 된다. Figure 2에서는 PLC Studio에서 논리적 모델링 부분인 I-O 모델링을 나타낸다. Timed-FSA 기반으로 이루어지기 때문에 설비의 상태 변화에 따른 순차제어 진행이 이루어진다(Goo et al., 2008).

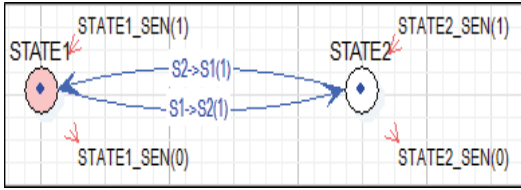


Fig. 2. I-O model of PLC Studio

이 때 I-O 모델링은 물리적인 모델링인 3D 그래픽 모델과 연동하지 않아도 단독으로 PLC 제어 프로그램을 검증할 수 있다. 상태가 이동하면서 설비의 동작 상태를 확인할 수 있기 때문에 그래픽으로 확인하지 않아도 PLC 제어 프로그램의 오류 및 수정이 가능하다. 이 모델링 방법은 상태를 확인하고 전진과 후진만 하는 단순한 동작의 설비에 유용한 모델링 방법이지만 로봇과 같이 여러 동작을 진행하고 하나의 디바이스에 다양한 상태를 모델링해야 하는 복잡한 설비에는 비효율적이며 사용자들의 공수와 시간을 낭비한다.

확장된 I-O 모델링은 앞서 정의되어 있는 I-O 모델링의 개념을 확장한 상태 기반 모델링이다. ‘토큰’이라는 개념을 사용하여 상태에 이벤트를 정의하지 않고 토큰에 정의하여 토큰 중심으로 이벤트가 발생하는 객체가 되는 모델링이다. 이 모델링은 기존 I-O 모델링의 상태와 오퍼레이션이라는 특징을 포함하고 있고 상태 부분에 토큰을 추가하여 하나의 설비에서 다양한 상태를 표현할 때 유용하게 사용될 수 있는 모델링이다.

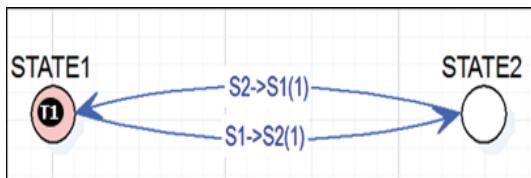


Fig. 3. Diagrammatic structure of I-O model with token

Figure 3은 실제로 이렇게 사용되지 않지만 이 모델링을 도식화해서 표현한 그림이다. STATE1과 STATE2는 설비의 현재 상태를 나타내고 S1→S2와 S2→S1은 설비의 오퍼레이션 부분으로 기존과 동일하게 출력 신호로 정의한다. 토큰은 하나의 설비에서 현재 상태가 복수일 때, 이벤트 신호를 토큰에 정의해주며 이벤트를 컨트롤한다. Figure 4는 페트리네트(Coloured Petri Net)의 토큰 개념을 이용해서 토큰끼리 서로 다른 이벤트를 발생하는 상황을 그림으로 표현한 것이다.

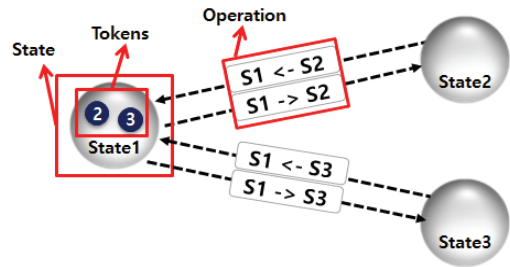


Fig. 4. I-O modeling when one device has multi-states

토큰의 타입은 하나의 설비에서 여러 상태(2, 3)가 존재할 때, 그 상태에 맞는 여러 개의 이벤트(2_E, 3_E)가 토큰의 타입이 된다. 토큰의 개수는 설비가 가지고 있는 상태의 개수이다.

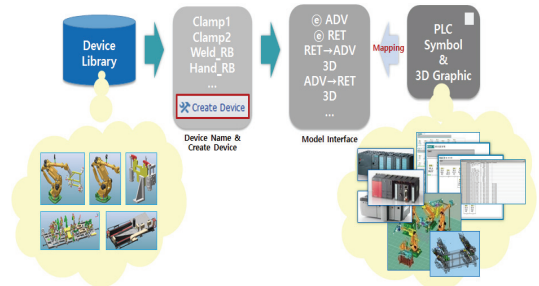


Fig. 5. Device library and PLC symbol mapping structure

Figure 5와 같은 모델링 방법은 선행된 경험으로 자주 사용되는 설비의 모델링을 사전에 미리 정의한 설비 라이브러리이다. 이를 통해 한 번에 여러 모델링을 구현할 수 있으며 사용자들은 각 신호에 맞는 PLC 심볼을 맵핑 시켜주기만 하면 된다. 하나의 설비에 다양한 상태를 표현할 때 여러 번 모델링 하지 않아도 되며 설비 라이브러리로 사용자들의 공수와 시간을 절감할 수 있다.

3.2 I-O 모델과 확장된 I-O 모델의 비교

기존 I-O 모델링과 토큰 개념을 추가한 확장된 I-O 모델링은 공통적으로 상태를 기반으로 하는 특징을 가지고 있다. 시뮬레이션 모델링일 경우 설비의 동작을 상태로 정의하기 때문에 상태 기반을 공통적으로 가지고 있다. 확장된 I-O 모델링은 이벤트 발생 주체가 토큰 중심이 되며 토큰에 이벤트를 정의하고 토큰이 상태에 따라 이동하며 그 상태에 맞는 이벤트를 활성화시킨다. 또한 오퍼레이션에 이동할 수 있는 토큰을 정의하면 토큰은 정의되어 있는 오퍼레이션만 이동할 수 있게 된다.

Table 1. Formal definition of extended I-O modeling

$M = (Q, \Sigma, C_n, \delta, q_0, F)$	
Q	상태 집합, 상태의 공집합이 아닌 유한 집합
$\Sigma :$ { C1, C2, C3, ..., Cn }	컬러(event) 집합, 입력 문자이며 컬러 세트들의 유한 집합
$C_n \in \Sigma$	토큰의 컬러, Σ 의 원소
δ	상태 전이 함수, $Q \times C_n \rightarrow Q$ 사건(event)발생 주체의 이동으로 상태 전이
$q_0 \in Q$	초기 상태, Q의 원소
$F \subseteq Q$	최종 상태 집합, Q의 원소

기존 FSA의 정의에 페트리네트의 토큰 개념을 추가하여 확장된 I-O 모델링을 Table 1과 같이 정의하였다. 상태는 기존과 같이 사용되지만 Σ 는 모든 컬러의 집합이며, PLC 심볼의 모든 센서 이벤트인 입력 신호로 정의했다. 페트리네트에서의 Σ 는 유한 컬러 집합이며 컬러들의 집합, 즉 모델 내의 사용 가능한 모든 컬러, 오퍼레이션과 기능이 포함되어 있다 (Jensen, 1997; Lee et al., 1999). 이러한 부분을 확장된 I-O 모델링에서는 {C1, C2, C3, ..., Cn}과 같이 컬러들의 집합으로 나타내었으며 여기서 Cn은 하나의 토큰 컬러를 표현한다. 컬러 집합들에 포함되어 있는 모든 컬러들은 각각의 다른 컬러를 지니고 있어야한다. 이 모델링에서는 각각의 다른 컬러의 집합(Σ)을 PLC 제어 프로그램에서 사용하는 모든 심볼로 나타냈다. 이에 따라 전체 심볼 중 하나의 심볼을 나타내는 것은 Cn이 되며 상태 전이를 위한 입력 신호 및 토큰에 정의되는 데이터 값(토큰의 컬러)이 된다. 예를 들면, 전체 PLC 심볼 리스트 중에 ‘S174_RB1_1ST_COMP’라는 심볼명이 ‘I101.2’라는 주소를 가지고 있다면 CI101.2는 ‘S174_RB1_1ST_COMP’의 데이터 값을 가지고 있는 토큰이 되는 것이다. 이와 같이 PLC 제어 프로그램에서 사용되고 있는 모든 심볼들은 주소가 다르기 때문에 각각의 컬러들로 정의 된다. 또한 하나의 토큰에 한 개 이상의 신호가 정의되어 있고 하나의 신호가 여러 토큰에 사용 된다 하더라도 그 외의 신호들에 각각 다른 신호들이 정의된다면 다른 성질을 가진 토큰이 된다. 상태 전이(δ) 함수는 PLC의 입력 신호(센서 이벤트)가 정의되어 있는 Cn (토큰)이 이동하면서 다음 상태로 이동하는 것을 나타낸다. 기존 I-O 모델링의 이벤트 발생 주체인 상태에서 확장된 I-O 모델링의 이벤트 발생 주체가 각각의 이벤트가 다르게 정의되어 있는 토큰으로 바뀐 부분을 정의해 보았다.

4장에서 사용자가 두 모델링의 사용을 통해 비교 실험한다. 기존 I-O 모델링은 사용자가 직접 설비의 상태 정

의와 이벤트를 엔터링(entering) 이벤트와 리빙(leaving) 이벤트로 나눠서 정의 한다. 또한 그 두 개 이상의 상태를 이동할 수 있는 출력 신호도 생성해줘야 한다. 가시적으로 확인할 수 있는 물리적 모델인 3D 그래픽과 논리적 모델인 I-O 모델을 연결해줘야 한다. 확장된 I-O 모델링은 설비 라이브러리에서 정의된 설비 모델링을 정의하고 테이블을 펼치면 그에 해당되는 상태와 그에 필요한 입력 신호 및 출력 신호와 같은 모델 인터페이스가 나타나며 맵핑할 수 있다. 사용자는 해당되는 신호에 맞게 PLC 심볼을 맵핑 해준다. 3D 모션 또한 출력 부분 3D 이벤트 부분에 맵핑을 해주면 모델링을 완료하게 된다.

3.3 예제 설비 시나리오

두 모델링의 가장 큰 차이는 설비 라이브러리와 토큰을 이용해서 하나의 설비에 다양한 상태를 표현하는데 있다. 로봇 설비가 가장 대표적인 예제 설비가 될 수 있다. 용접 로봇인 경우, 기본적인 동작인 HOME, READY, WORK를 상태로 정의할 수 있고 그것들을 연결해주는 오퍼레이션 부분도 3개가 만들어진다. 또한 로봇 설비는 PLC와 핸드셰이크 하는 이벤트 처리를 별도로 모델링을 해줘야 한다. 예를 들어 용접해야 하는 차종과 대차에 놓여진 차종이 일치하는 지 확인해줘야 한다. 만약 PLC가 받은 차종 신호와 대차에 놓여진 차종 신호가 다르다면 로봇은 용접을 하지 않는다.

로봇의 가장 기본적인 동작으로 Figure 6과 같이 모델링을 할 수 있다. HOME 상태에는 그에 맞는 HOME 이벤트가 부여될 것이다. 그림과 같이 기존 I-O 모델링은 로봇의 기본적인 동작과 차종 데이터 신호를 받는 상태를 모델링해야 한다. 따라서 상태 정의와 이벤트 처리에 사용자의 공수가 증가하게 된다.

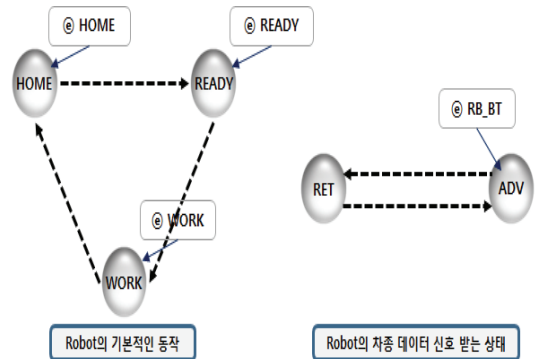


Fig. 6. Visual representation of robot I-O modeling

이 논문에서 제안한 확장된 I-O 모델링 내부 구조의 표현은 Figure 7과 같다. I-O 모델링의 기준으로 확장된 것을 보여준 표현이다. 3개의 출력 신호를 받아서 움직여야 하는 A토큰과 2개의 출력 신호를 받아서 차중 데이터 신호를 주고받는 B토큰이 있다. HOME에서 READY로 연결된 오퍼레이션에는 A토큰만 이동할 수 있다. 그 부분은 오퍼레이션 부분에 이동 가능한 토큰을 정의해준다.

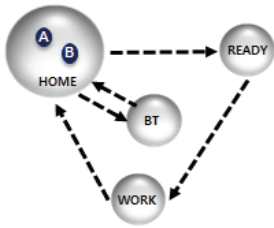


Fig. 7. Visual representation of the extended robot I-O modeling

Figure 8에서와 같이 토큰 부분에 TYPE_A와 TYPE_B가 정의되어 있다. TYPE_A는 로봇의 기본 동작이고 TYPE_B는 차중 데이터 신호를 받는 상태이다. 이 때 각 상태 활성화 (Trans Fire) 탭에서는 전이의 활성화 신호를 맵핑 해주고 또한 그에 맞는 그래픽을 맵핑 해주며, Event Before와 Event After 탭에는 해당 출력 신호 각각의 상태에 주는 입력 신호를 맵핑 해주고 그에 맞는 그래픽도 맵핑한다. 사용자는 설비 라이브러리에서 토큰을 정의해둔 설비 모델링에 신호만 맵핑 해주면 되므로 이러한 경우에 확장된 I-O모델링이 유용하게 사용될 수 있다.

Name	Fire Type	Token			
HOME → READY	Normal	TYPE_A			
Trans Fire Event Before Event After					
Name	Type	Init	Target	Task	Tag Key
HOME → READY	Trans	-1	1	GO_STN@34	Y10
READY → WORKCOMPL	Normal				TYPE_A
WORKCOMPL → HOME	Normal				TYPE_A
HOME → CAR TYPE	Normal				TYPE_B
Trans Fire Event Before Event After					
Name	Type	Init	Target	Task	Tag Key
HOME → CAR TYPE	Trans	-1	1		Y15
CAR TYPE → HOME	Normal				TYPE_B
Trans Fire Event Before Event After					
Name	Type	Init	Target	Task	Tag Key
CAR TYPE → HOME	Trans	-1	1		Y16

Fig. 8. Representation structure of a robot device of the extended I-O modeling

4. 실험 및 검증

4.1 사용자의 공수 및 시간 절감 실험

기존 모델링 방법과 확장된 모델링을 사용자 입장에서 모델링하는 시간을 비교하기 위한 실험을 진행하였다. 도구 사용 및 모델링하는 과정은 사용자마다 개인차가 있어 정확한 측정이 쉽지 않다. 따라서 그에 따른 시간 오차 범위를 임의로 설정하였다.

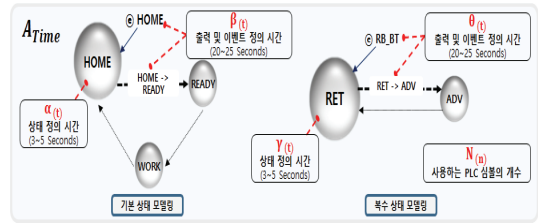


Fig. 9. Time taken by the existing I-O modeling

Figure 9는 기존 I-O 모델로 로봇 모델링과 같은 하나의 디바이스에서 복수의 상태를 나타낼 때 사용자가 모델링하는데 소요되는 시간을 측정하였다. 예제 설비인 로봇을 기준으로 기본 동작 상태 개수는 3개, 복수 상태의 상태 개수는 2개로 설정하여 측정하였다.

$\alpha(t)$ 는 기본 동작을 정의하는 시간이다. 상태 하나 당 3~5초의 시간이 소모된다.

$\beta(t)$ 는 기본 동작의 출력 및 이에 해당하는 이벤트를 정의하는 시간이다. 상태 하나 당 20~25초의 시간이 소모된다.

$\gamma(t)$ 는 하나의 설비에 복수 상태를 정의하는 시간이다. 상태 하나 당 3~5초의 시간이 소모된다.

$\theta(t)$ 는 복수 상태의 출력 및 이에 해당하는 이벤트를 정의하는 시간이다. 상태 하나 당 20~25초의 시간이 소모된다.

$N(n)$ 는 총 모델링에 쓰이는 PLC 심볼의 개수 이다.

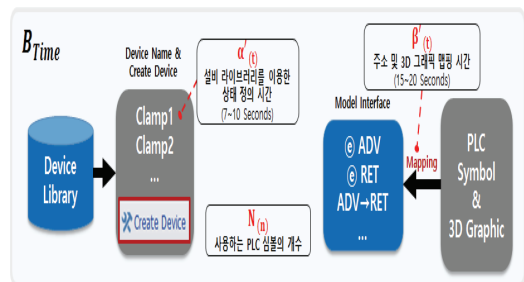


Fig. 10. Time taken by the extended I-O modeling

Figure 10은 확장된 I-O 모델로 하나의 설비 로봇에 복수의 상태가 존재할 때 설비 라이브러리에 토큰을 이용, 정의되어 있는 모델 인터페이스를 사용하여 모델링하는데 소요되는 시간을 측정하였다.

$\alpha'(t)$ 는 라이브러리에 있는 설비 모델링을 프로젝트 이름으로 정의하고 펼쳐서 심볼들을 맵핑 하기 전 상태까지의 시간이다.

$\beta'(t)$ 는 각 상태와 오퍼레이션 및 토큰에 맞게 주소와 그래픽을 맵핑 하는 시간이다.

$N(n)$ 은 총 모델링에 쓰이는 PLC 심볼의 개수 이다.

4.2 사용자의 공수 및 시간 절감 실험 결과

사용자가 모델링하는 데 소요되는 시간은 Figure 11과 같다. PLC 심볼의 수가 증가함에 따라 기존 모델링 소요 시간인 A(Max)와 A(Min)의 실험 결과를 분석하기 위해 평균 소요시간 A(Average)와 제안 모델링 방법의 평균 소요시간 B(Average)를 측정하고 비교 분석하였다. 8개의 PLC 심볼의 수를 기준으로 A(Average)는 1060초, B(Average)는 208초로 $[A(Average) / B(Average) = 1060 / 208]$ 기존보다 약 5배의 시간이 감소하였다.

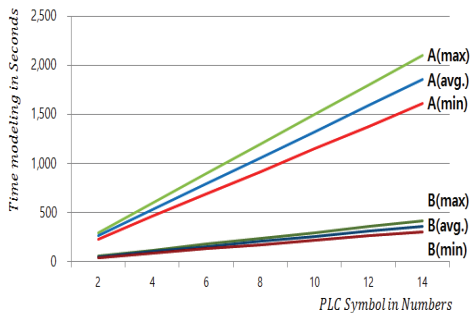


Fig. 11. Time required for the user modeling

4.3 사용자 평가 실험 환경

사용자 평가 (Usability Test)는 실제 사용하는 과정 및 모습을 일련의 과정으로 평가 및 문제점을 개선해야 할 사항을 도출하여 최종적으로 아이디어를 도출하는데 있다(Lee, 2007; Cho, 2007). 기존 I-O모델링과 확장된 I-O모델링의 사용자 평가 실험은 다음과 같은 환경에서 이루어졌다.

평가 대상에서 표기한 엔지니어링 7명은 기존 및 제안된 모델링 방법을 모두 사용해본 경험이 있는 대상으로, 실제로 사용한 평가결과를 설문문을 통해 나타냈다.

<ul style="list-style-type: none"> • 사용자 평가 실험 환경 - 평가 대상 : 시뮬레이션 모델링 엔지니어 7명 (경력 3~5년) - 실험 디바이스 및 방법 : PLC Studio(기존 I-O모델링), Sharp Studio(확장된 I-O모델링)

이 설문에서 사용된 리커트 척도 (likert scale)는 설문 조사에 자주 사용되는 응답 척도의 하나로 5단계의 척도에서 1점(전혀 아니다) 부터 5점(매우 그렇다) 사이의 점수로 평가한다. 또한 본 논문에서는 평가 대상들이 작성한 설문지에서 평균과 표준편차를 계산하여 각 질문에 따른 모델링 방법의 결과 차이를 확인할 수 있게 하였다.

4.4 사용자 평가 실험 결과

Table 2는 기존 I-O 모델링과 확장된 I-O 모델링 방법에 대한 설문 평가 결과를 나타낸다. 각각의 모델링 방법에 맞게 문항에 따라서 평균값과 표준편차를 계산하였다.

Table 2. Result of usability test on two modelings

문항	기존 I-O 모델링		확장된 I-O 모델링		
	평균	표준편차	평균	표준편차	
< 편의성 >					
1	상태(State) 변화를 쉽게 확인할 수 있다.	4.14	0.35	2.29	0.45
2	상태, 오퍼레이션, 이벤트를 정의하는 데 시간이 절감된다.	1.43	0.73	4.14	0.64
3	3D 그래픽 모델과 PLC 주소와의 직관적인 연결이 가능하다.	2.29	1.03	4.86	0.35
4	설비 모델링이 표준화 되어 있어 재사용이 가능하다.	1.29	0.45	4.43	0.49
< 유연성 >					
5	하나의 설비에서 복수의 상태가 존재할 때, 한 번의 모델링에 다양한 상태 표현이 가능하다.	1.86	0.64	4.14	0.64
6	자주 사용하는 설비를 제외한 특별한 경우의 설비일 경우, 모델링하기에 간편하다.	3.14	1.46	3	1.07
< 사용성 >					
7	이 모델링 방법을 계속 사용할 의향이 있다.	2.86	0.35	4.14	0.64
설문 평균		2.82	0.7	3.47	0.62

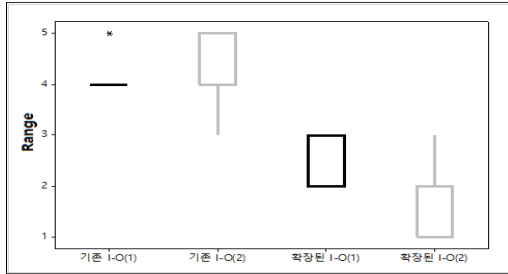


Fig. 12. Result of usability test (No. 1 and No. 2)

Figure 12는 사용성 평가의 1번 항목과 2번 항목의 결과를 나타낸다. 1번 항목은 상태 변화를 쉽게 확인할 수 있는지의 문항이다. 두 가지의 모델링에서 기존 I-O 모델링이 확장된 I-O 모델링보다 확인하기 쉽다고 나타나 있다. 기존 I-O 모델링은 이벤트 발생 주체가 상태에서 다른 상태로 이동하면서 설비의 현재 상태를 나타내기 때문에 사용자들이 확장된 I-O 모델링 보다는 상태 변화를 쉽게 확인할 수 있다는 평가가 나왔다. 그에 반해 2번 항목인 상태, 오퍼레이션, 이벤트를 정의하는 데 시간이 오래 걸린다는 문항에는 확장된 I-O 모델링이 기존 I-O 모델링보다 시간이 오래 걸린다는 부분에 값이 적게 나왔으며 오래 걸린다는 부분에 ‘전혀 아니다’라는 대답이 많았다. 확장된 I-O 모델링이 설비 라이브러리에 사전에 모델 인터페이스를 정의해 놓아서 모델링할 때 시간이 절감되는 부분을 확인할 수 있었다.

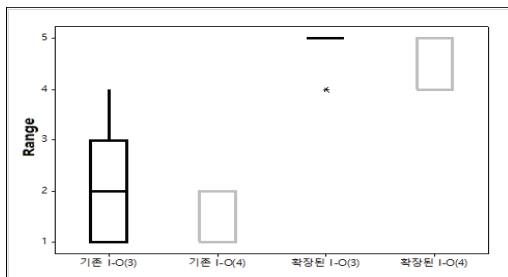


Fig. 13. Result of usability test (No. 3 and No. 4)

Figure 13은 사용성 평가의 3번 항목과 4번 항목의 결과를 나타낸다. 3번 항목은 3D 그래픽 모델과 PLC 주소와의 직관적인 연결이 가능한지의 문항에서 기존 I-O 모델링에서는 보통 이상의 답변도 나왔지만 평균 이하의 답변이 더 많이 차지하였다. 확장된 I-O 모델링에서는 PLC 심볼과 3D 그래픽 정보들을 사전에 미리 불러와서 모델 인터페이스에 Drag & Drop으로 직관적인 모델링이 가능하다는 답변이 과반수가 ‘매우 그렇다’라고 답했

다. 4번 항목은 설비 모델링을 재사용할 수 있는지의 문항이었고 기존 모델링은 평균 이하의 결과가 나왔으며 확장된 I-O 모델링은 평균 이상의 결과가 나왔다. 기존 I-O 모델링은 매번 설비 모델링을 해줘야 한다는 번거로움이 있지만 확장된 I-O 모델링은 설비 라이브러리를 통하여 모델링의 재사용이 가능하기 때문이다.

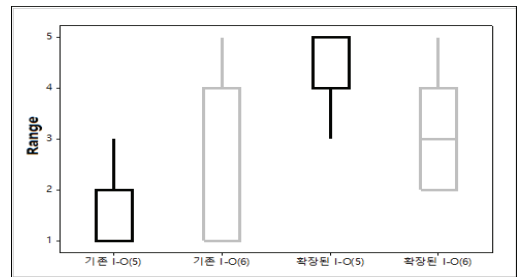


Fig. 14. Result of usability test (No. 5 and No. 6)

Figure 14는 사용성 평가의 5번 항목과 6번 항목의 결과를 나타낸다. 5번 항목은 하나의 설비에서 복수의 상태가 존재할 때, 한 번의 모델링으로 다양한 상태 표현이 가능한 지에 대한 문항인데, 기존 I-O 모델링은 복수의 상태가 존재할 때, 여러 번의 모델링에 따른 유연성의 부족으로 평균 이하의 답변이 많이 나왔으며 확장된 I-O 모델링은 토큰의 개념을 사용하여 설비 라이브러리에 정의할 수 있으며 한 번의 모델 인터페이스에 표현이 가능하므로 평균 이상의 답변이 많이 나왔다. 6번 항목은 자주 사용하는 설비를 제외한 특별한 경우의 설비일 경우, 모델링이 간편한 지에 대한 문항인데, 기존 I-O 모델링은 자주 사용하는 설비를 포함한 특별한 경우의 설비도 직접 모델링할 수 있어 평균 이상의 답변이 나왔으며 확장된 I-O 모델링은 설비 라이브러리를 통한 모델 인터페이스를 나타내므로 설비 라이브러리에 미리 정의해야 한다는 불편함이 있어 평균 이하의 답변도 나왔다.

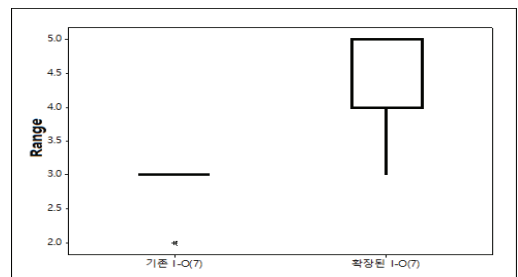


Fig. 15. Result of usability test (No. 7)

Figure 15는 사용성 평가 7번 항목의 결과를 나타낸다. 각각의 모델링 방법을 계속 사용할 의향이 있는 지에 대한 문항인데, 기존 I-O 모델링은 평균의 답변이 많이 나왔으며, 확장된 I-O 모델링은 평균 이상의 답변이 많이 나왔다. 따라서 확장된 I-O 모델링 방법을 사용할 의향이 있다는 답변이 많이 나왔다. 사용자의 모델링 편의성을 나타냈던 1번부터 4번까지의 문항은 1번을 제외한 나머지 문항에서 확장된 I-O 모델링 방법이 상대적으로 좋다는 평가가 나왔으며, 사용자의 모델링 유연성을 나타냈던 5번과 6번 문항에서는 다양한 상태를 표현할 때는 확장된 I-O 모델링 방법이 좋게 평가되었지만 특별한 경우의 설비일 경우에는 두 모델링의 방법이 대체로 비슷하게 평가되었으며 평균적으로 0.14 정도의 차이로 기존 I-O 모델링 방법이 좋게 평가 되었다.

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서 제안하는 I-O 모델링 방법은 시물레이션에 사용하는 기존 I-O 모델링 방법에서 하나의 설비에 복수의 상태를 표현하는 데 사용자의 공수와 시간이 낭비되는 문제점을 페트리네트의 토큰 사용으로 하나의 설비에 복수 상태를 표현하여 언어의 다양성과 모델링의 유연성을 향상시킬 수 있었고 자주 사용하는 설비 모델링을 라이브러리로 관리함으로써 사용자의 공수 및 시간을 효율적으로 개선할 수 있었다.

향후 연구로는 PLC 제어 프로그램 검증 이외에 입력, 출력 신호가 PLC 보다 범위가 다양한 PC 제어 프로그램과 같은 다른 제어 프로그램 검증에 대한 모델링 방법 연구와 연속 공정에 대한 문제점을 보완한 모델링 방법을 고려할 것이다.

References

1. Choi SW, Koo LJ, Park CM, Wang GN (2007) "A study of PLC Code to Discrete Event Modeling using Timed-FSA", *Conference of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 1306-1311.
(최성욱, 구락조, 박창목, 왕지남 (2007) "Timed-FSA를 이용한 PLC 코드의 이산사건모델링에 대한 연구", 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 1306-1311)
2. Cho SJ, Kim YB (2007) "Intelligent Mobile Human-Computer Interaction Based on Machine Learning Algorithms", *Communications of the*

Korean Institute of Information Scientists and Engineers, 25(3), 46-51.

(조성정, 김연배 (2007) "기계학습을 이용한 지능형 모바일 HCI", 한국정보과학회지, 25(3), 46-51).

3. Goo LJ, Lee KK, Hong SH, Jung IS, Park CM, Park SC, Wang GN (2008) "Discrete Event System modeling for verifying the PLC Code in the automobile manufacturing industries", *Conference of the Korean Operations Research and Management Science Society/Korean Institute of Industrial Engineers*.
(구락조, 이강구, 홍상현, 정인성, 박창목, 박상철, 왕지남 (2008) "자동차 조립 라인의 PLC 제어 코드 검증을 위한 이산 사건 모델링", 대한산업공학회 / 한국경영과학회 춘계공동학술대회)
4. Goo LJ, Bae JH, Park CM, Park SC, Wang GN (2008) "Application of Automata for Operating Simulation of an automobile assembling line", *Conference of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 796-802.
(구락조, 배재호, 박창목, 박상철, 왕지남 (2008) "자동차 차체 조립라인 시물레이션을 위한 오토마타 적용", 대한산업공학회 추계학술대회, 796-802).
5. IEC International Standard 61131-3: Part 3: programmable controllers (2002). IEC, Geneva. Switzerland.
6. Jensen K, Coloured Petri nets: basic concepts, analysis methods and practical use (1997), vol. 1, Springer Verlag.
7. Jung IS, Koo LJ, Choi SW, Park CM, Wang GN (2007) "A study of PLC logic verification using FSA (finite state automata)", *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 12(2).
(정인성, 구락조, 최성욱, 박창목, 왕지남 (2007) "FSA(Finite State Automata) 모델 이용한 PLC 로직 검증 시물레이션에 대한 연구", 대한설비관리학회지, 12(2)).
8. Lee CH, Wang GN, Park SC (2009) "Design of a Vehicle Assembly Line Using PLC Simulation", *Journal of CAD/CAM*, 14(5), 323-329.
(이창호, 왕지남, 박상철 (2009) "PLC 시물레이션을 이용한 자동차 조립 라인 설계", 한국 CAD/CAM 학회논문집 14(5), 323-329).

9. Lee GB, Lee JS (1999) "The Integrated Petri Net combining the discrete event system modeling with the operating PLC modeling", *Institute of Control, Robotics and Systems*, 5(4), 29-41.
(이기범, 이진수 (1999) "이산사건 시스템 모델링과 구동 PLC 모델링을 결합한 통합 페트리네트", *제어로봇시스템학회지* 5(4), 29-41).
10. Lee Sung-sik (2007) "A study on design concept of computer OS interface as the agent on ubiquitous computing environment", *Journal of Korean Society of Design Science*, 20(4), 191-202.
(이성식 (2007) "유비쿼터스 컴퓨팅 에이전트로서 컴퓨터 OS 인터페이스 디자인 개념 연구", *디자인학 연구*, 20(4), 191-202).
11. Park CM, Seong KY, Park SC, Wang GN, and Han KH (2008) "Simulation based Control Program Verification in an Automobile Industry", *Proceedings of the 27th IASTED International Conference on Modelling, Identification, and Control*, 268-273.
12. Park HT, Hong SH, Wang GN, Park SC (2009) "An methodology for Auto generation of the PLC code and Plant Model", *Conference of the Korean Operations Research and Management Science Society/Korean Institute of Industrial Engineers*.
(박형태, 홍상현, 왕지남, 박상철 (2009) "자동화 공정 제어 코드와 공장 모델 자동 생성을 위한 모델링 방법론", *한국경영과학회 / 대한산업공학회 춘계공동 학술대회*).



오 수 연 (abcforever7@naver.com)

2014 수원대학교 물리학과 학사
2016 아주대학교 대학원 지식정보공학과 석사
2016~ 현재 (주)유디엠텍 연구원

관심분야 : IoT, 모바일 보안, 이산사건 시스템



왕 지 남 (gnwang@ajou.ac.kr)

1993 미국 Texas A&M University 산업공학 박사
1993~현재 아주대학교 산업공학과 교수

관심분야 : CAD/CAM, 이산사건 시스템, M&S, 제조 공정 제어 및 설계 등



김 기 형 (kkim86@ajou.ac.kr)

1996 한국과학기술원 전자공학 박사
1997~2005 영남대학교 컴퓨터공학과 부교수
2005~ 현재 아주대학교 사이버보안학과 교수

관심분야 : IoT, 네트워크 보안, 임베디드 소프트웨어



김 강 석 (kangskim@ajou.ac.kr)

2007 미국 인디애나 대학교 컴퓨터공학 박사
2010~2016 아주대학교 대학원 지식정보공학과 연구교수
2016~ 현재 아주대학교 사이버보안학과 부교수

관심분야 : 클라우드 컴퓨팅, IoT 협업, 빅데이터 응용보안