

## 실시간 객체지향 시물레이션 설계 방법

# Design Method for Real-Time Object Oriented Simulation

오영배, 이단형, 전진옥

시스템공학연구소

Young Bae Oh, Dan Hyung Lee, Jin Ok Jeon

Systems Engineering Research Institute

{yboh, dhlee, jojeon}@seri.re.kr

### 요 약

RTO(Real-time Object) 모델로 불리는 실시간 객체지향 모델은 컴퓨터에 의해 제어되는 실시간 제어기 및 이의 응용 환경 시물레이터를 정밀하게 표현하는데 유용한 모델로 정착되었다. 이 모델은 실시간 분산 컴퓨터 시스템과 이의 응용 환경에 대한 실시간 시물레이터를 통합적으로 설계 하는데 강력한 표현력을 보여주고 있다. RTO 기반의 접근 방법에 의한 통합 설계는 RTO로 불리는 객체의 네트워크 형태로 표현된다. 본 논문에서는 이와 같은 설계 방법을 자동판두께제어기(Automatic Gauge Controller, AGC)라고 불리는 실시간 분산 시스템의 설계 사례를 통해 제시하고자 한다. AGC 시스템은 압연공정 제어기로서 압연공정 실시간 시물레이터의 소재 이송 및 압하 공정을 제어한다. 설계과정을 통해서 실시간 분산 시스템 명세의 추상화 방법에 대하여 논하고, 네트워크의 구축 과정을 통한 시물레이션 모델의 정밀한 표현 방법을 제시하며, RTO의 분산구조 및 명확하고 엄밀한 실시간 설계 방법에 대하여 논한다.

### 1. 서 론

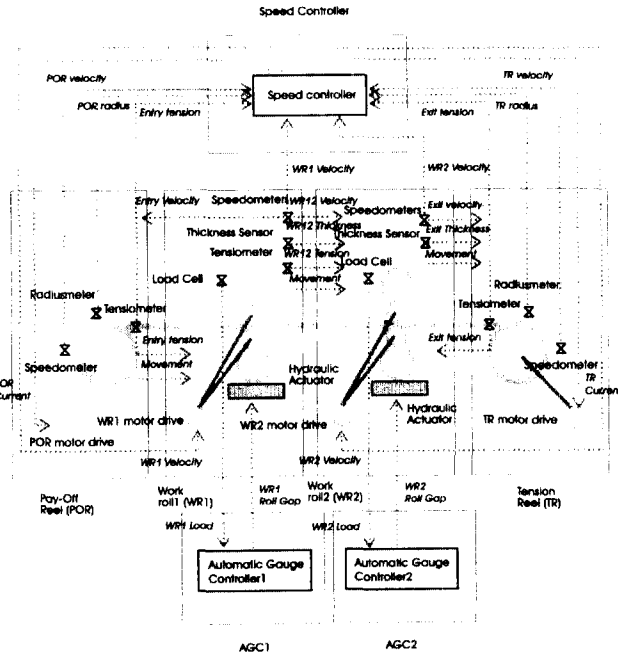
대규모 실시간 시스템의 개발자 및 사용자들은 시스템의 신뢰성, 확장성 및 유지보수성에 더욱 더 민감해져 가고 있다. 이러한 시스템은 출력에 마감시간(deadline)이 부과되며, 시스템의 유지보수성 및 확장성이 관리가능 하도록 하기 위하여 모듈화 되고 체계적인 방법을 가져야 한다. 설계의 효율성과 시스템 신뢰성의 확보된 현재 상태에서부터 효과적으로 개선하기 위하여 복잡한 실시간 시스템을 구축하는데 있어서 다음과 같은 3가지 유형의 기술이 필요하다[6].

- (1) 일반적 유형의 설계 방법 : 향후의 실시간 컴퓨팅 기술은 특수한 분야의 형태가 아니라 비실시간 시스템의 일반화된 형태로 구현된다.
- (2) 실시간 서비스 능력의 설계시점에서의 보증(guarantee) : 고안전 시스템(safety-critical applications)의 실시간 시스템의 보증된 신뢰도의 요구조건을 만족시키기 위하여 설계자는 각 서브시스템들의 실시간 서비스 능력에 대해 설계시점에 보증할 수 있도록 요구되어 진다.
- (3) 실시간 시스템의 통합설계 : 실시간 시스템의 각 개발 단계(명세, 설계, 구현 등)에 대하여 여러 가지 표현구조, 분석, 통합 기법 및 도구가 개발되

었지만 실시간 시스템 기술의 모든 개발 단계에 적용되는 통합적인 개발방법론이 부재한 것이 현실이다. 통합 개발 방법론을 개발함에 있어서 가장 중요한 것은 시스템 모델로서 실시간 시스템의 추상화 및 단계적인 개량화(stepwise refinement)를 효과적으로 지원하여야 하고 응용 환경의 효과적 표현 및 분석의 기반 구조를 제공 할 수 있어야 한다. 응용 환경의 기술 뿐만 아니라 시물레이션 또한 실시간 설계의 전 단계에 적용된다. 이와 같이 바람직한 모델은 응용 환경 및 제어 컴퓨터 시스템 설계의 각 개발 단계에 통합적이며 광범위하게 정확성을 제어할 수 있는 능력을 가져야 한다.

전통적인 객체지향 구조[2,8]는 객체지향 개념이 주는 모듈화, 일반화, 자연적인 추상화 능력으로부터 위에서 제시한 세가지 기술적 요구사항을 충족시켜 주기 위한 기초를 제공한다. 그러나 전통적인 객체 모델은 복잡하고 동적인 시스템의 실시간 행위(temporal behavior)를 정확하게 기술하기 위한 구체적인 구조를 제공하지 못한다. Kopetz와 Kim이 개발한 RTO.k 모델 [3]은 전통적인 객체지향 모델을 확장하여 대상 모델의 실시간 행위에 대한 탄력적이고 보다 정확한 명세를 제공하는 능력을 가지고 있다.

본 논문에서는 상기 세가지 목표를 달성하기 위해 RTO를 기반으로 하는 모델을 이용한 개발 방법에 대하여 논한다. 이러한 접근 방법에서는 제어 컴퓨터 시스템과 응용 환경 시뮬레이터의 통합 설계를 RTO 객체의 네트워크 형태로 구성한다. 본 연구에서는 자동판 두께제어기 및 이의 응용 환경 시뮬레이터를 설계 구현하였는데, 개발 과정을 통해 RTO 접근방법을 이용한 이의 설계 과정에 대하여 논하기로 한다.



(그림 1) 압연공정 응용 환경의 개요도

## 2. 실시간 객체지향 모델 개요

RTO.k 모델은 전통적인 객체 지향 모델을 확장하여 실시간 특성을 보다 효과적으로 표현할 수 있는 모델로 제안되었다. 이 모델은 전통적인 객체 지향 모델과 구분되는 다음과 같은 특징이 있다.

- (1) SpM(spontaneous method)으로 불리는 시간 구동 객체 메소드와 SvM(service method)으로 불리는 메시지 구동 메소드 간의 명확한 분리 : 실시간 객체(Real-time Object, RTO)의 일부 메소드(method)에 대하여 실시간 시계(Real-time clock)는 시계가 설계시에 규정된 어떤 값에 도달할 때 메소드 실행을 구동하는 장치가 되며, 이러한 메소드를 자발적 메소드(SpM)라고 하며 클라이언트(client)로부터 메시지(message)에 의해 구동되는 고전적인 서비스 메소드(SvM)와 명확히 분된다. 실시간 시계가 설계 시에 결정될 수 있는 어떤 값에 도달할 때 취해지는 행동은 SpM에만 나타난다.
- (2) SvM에 대하여 SpM에게 항상 우선순위를 부여하는 기본 동시성 제한 조건(Basic Concurrency Constraint) : 기본적으로 외부 클라이언트로부터 발생

되는 메시지에 의해 구동 되는 서비스 메소드는 충돌 가능한 시간 구동 메소드의 수행이 일어나지 않을 때만 활동할 수 있다. 정확하게 표현하면 SvM이 SpM과 객체 데이터 공간(Object Data Space, ODS)의 동일한 부분을 접근하는데 충돌이 배제되지 않는다면 SvM은 SpM의 시간 구동에 대해 규정된 시간 영역 내에서는 허용되지 않는다. 이러한 제한 조건을 기본 동시성 제한 조건 이라고 부른다. 따라서 SpM은 SvM에 비해 더 높은 우선순위가 부여된다. 이러한 동시성 제한 조건은 SpM간의 동시적 수행이나 SvM간의 동시적 수행에는 어떠한 제한 조건도 부과되지 않는다는 것에 주의해야 한다.

(3) 실시간 객체의 각각의 메소드 수행에 대하여 마감 시간(deadline)이 부과된다.

(4) 실시간 객체 내에 포함된 실시간 데이터는 최대 유효 기간(Maximum Validity Duration)이라 불리는 시간 간격 이후에는 유효성을 상실한다.

객체 모델은 원래 시물레이션 응용에 적용하기 위하여 사용되었다. 그러므로 환경 객체를 모델링 하는데 있어서 객체 모델, 즉 시간이 변하는 내부 상태를 가진 환경 내의 모듈 개체를 사용하는 것은 오랫동안 활용되었다. RTO 객체 모델은 실시간 제어 시스템 설계의 가변적인 추상화 뿐만 아니라 응용 환경을 정확하게 표현하는데 효과적인 표현 구조를 가지고 있다

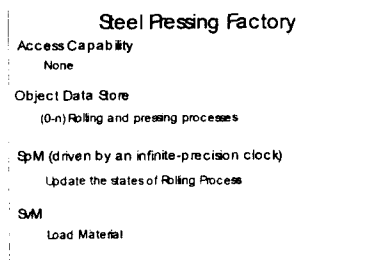
## 3. 실시간 제어기 및 시뮬레이터의 객체지향 설계

본 연구에서 설계 구현한 AGC(Automatic Gauge Controller) 시스템 프로토타입은 압연공정의 소재이송 및 압하공정을 제어하는 실시간 제어기이며, 자동 판 두께 제어 방법은 BISRA 방법을 비롯한 여러가지 방법이 이용되고 있다[12]. 그러나 대부분의 AGC 시스템의 압연 공정의 수학적 모델링에 기초한 제어 알고리즘을 이용하고 있기 때문에 모델링 오차의 존재 시에는 응답 특성이 크게 변화 될 뿐만 아니라 전체 제어 시스템에도 영향을 미치게 된다.

(그림1)은 압연공정 응용 환경의 개요도이다. 여기에서 전체 시스템은 압연공정부와 AGC 시스템부로 나누어지는데, 압연공정부는 압연현상이 발생하는 롤 스텐드부, 소재의 풀림 및 감김이 일어나는 입측롤(Pay-off reel)부와 출측롤(Tension reel)부로 이루어지고, AGC부는 압연 스케줄 및 압연공정부의 제환 신호를 이용하여 원하는 두께의 소재를 얻을 수 있도록 각종 제어 신호를 생성하는 제어시스템으로 구성된다[12].

압연공정부에 대한 입력신호에는 작업 롤 간격 기준신호(WR1 Roll Gap, WR2 Roll Gap), 롤 속도 기준신호(WR1 Velocity, WR2 Velocity), 입측롤 구동모터의 기준 전류신호(POR Current) 및 출측롤 구동모터의 기준 전류신호(TR Current) 등이 있으며, 출력신호에는 입출력 소재두께(Entry Thickness, WR12 Thickness, Exit Thickness), 입출측장력(Entry Tension, WR12 Tension, Exit Tension), 압하력(WR1 Load, WR2 Lord) 및 롤 간격 (WR1 Roll Gap, WR2 Roll Gap) 등이 있다. AGC 부의 입력신호에는 원하는 소재의 출측 두께, 입측장력 기준신호, 출측장력 기준신호 및 압연공정부로부터의 여러가지 케환신호들이 있으며, 출력신호들은 압연공정부의 입력신호들과 동일하다.

### 3.1 시물레이션 대상의 객체지향 추상명세



(그림 2) 압연공장 RTO

설계의 첫 단계로 AGC의 응용 환경은 (그림 2)와 같이 하나의 RTO로 기술 할 수 있다. 이 RTO는 압연공장(steel mill factory) RTO로 명명한다. 압연공장은 n개의 압연공정(rolling process)으로 구성된다. 따라서 압연공장의 객체 데이터 공간(ODS)은 (0-n)개의 압연공정의 상태 기술자 들로서 표현된다. 이러한 모든 상태 기술자들에 포함된 정보는 압연공장 RTO내에 포함된 정보들로 구성된다.

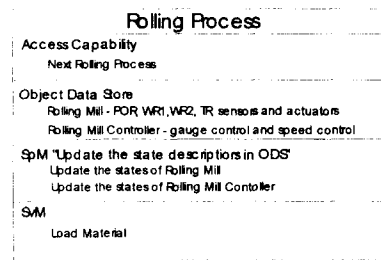
압연공정 상태 기술자들은 SpM에 의해 주기적으로 갱신된다. 개념적으로는 압연공장 RTO내의 이 SpM은 연속적으로 구동되며 각각의 구동은 순간적으로 완료된다. 이와 같이 SpM은 실제 압연공정 내에서 자연스럽게 발생하는 연속적인 상태변화를 표현한다. 압연공장 RTO 내의 SvM은 외부 클라이언트(client)에 대한 인터페이스로 작동하며 여기에서 고려될 수 있는 유일한 클라이언트는 첫번째 압연공정으로의 소재의 장입이 된다.

아직까지 (그림 2)의 압연공장 RTO는 응용 환경의 단순한 기술로 해석되었다. 그러나 객체 실행엔진에 의해 지원될 수 있는 각 SpM의 구동주기가 결정되면 이 RTO는 시물레이션 모델이 된다. 응용 환경의 행위는 이러한 시물레이션 모델에 의해 표현되며 SpM의 연속 구동에 기반한 표현 모델(description model) 보다는 정

밀도가 떨어질 수 있다. 일반적으로 RTO 객체 시물레이션의 정밀도는 선택된 SpM의 구동 주기의 함수이다. 이러한 시물레이션은 실시간 시물레이션이며, 시물레이션 객체가 시물레이션 대상의 시각적 행위(timing behavior)와 똑같은 행위를 보여 주도록 설계 된다.

### 3.2 객체지향 모델을 이용한 상위 수준 설계

응용 환경의 상위 수준 명세를 작성한 후 설계자는 각 압연공정(rolling process)의 상위 수준의 설계를 도출하여야 한다. 이것을 위하여 압연공장 RTO는 우선 다수의 압연공정 RTO로 분할 되어야 한다. 이러한 분할은 압연공정 각 RTO 내에 하나 또는 그 이상의 SvM을 도입함으로써 RTO 상호간 또는 RTO와 공장 외부의 클라이언트 간의 연결을 설정한다.



(그림 3) 압연공정 RTO

다음으로, 사용되는 센서(sensor)와 액츄에이터(actuator) 들의 형태를 결정한다. 이러한 장치 들이 선택되면 장치 들을 작동하고 압연공정을 제어하는 제어 알고리즘이 결정된다. 선택된 센서와 액츄에이터 및 가상의 제어기가 (그림 3)과 같이 하나의 RTO로 표현된다. 이 RTO의 ODS는 압연공정과 제어기의 상태 표현자를 가지며 이것은 두께제어와 모터의 속도 제어를 수행한다.

압연공정(Rolling Mill)의 SpM은 POR, WR1, WR2 및 TR의 반복적인 행위를 감시하며 제어기의 SpM은 제어기의 행동을 감시한다. 이것은 제어기를 개발하는 단계에서 컴퓨터 제어기에 대한 요구사항 명세의 핵심적인 부분이 된다.

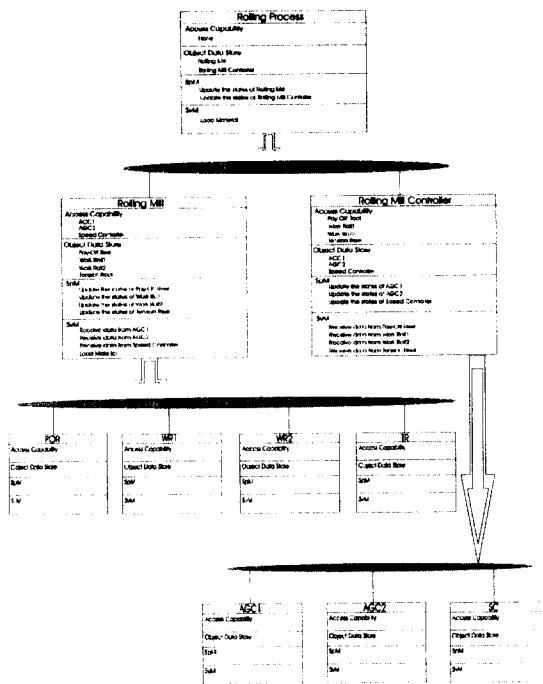
### 3.3 실시간 제어기와 시물레이터 RTO의 분할

RTO 모델링 방법은 전체 시스템을 하나의 RTO로 기술하면서 시작한다. (그림3)은 Top-level의 RTO를 나타내고 있는데, 그림에서 보는 바와 같이 RTO는 4개의 부분으로 나누어 진다.

접근능력 부분은 본 RTO가 호출하는 타 RTO를 기술한다. 여기에는 호출하는 RTO 명 및 메소드 명을 기술하고 전송하는 메시지 타입을 기술한다. 이 부분은 구현시 클라이언트 및 서버 RTO간의 메시지 전송 채

널(channel)을 형성해 준다. ODS는 RTO내의 공유데이터 구조를 나타낸다. 이 명세의 각각의 ODS 데이터 구조가 read-only 또는 read-write 목적으로 접근 될 수 있는지도 지정한다. 이것은 실행될 필요가 있는 객체 메소드들 간의 가능한 데이터 충돌을 감지 할 수 있게 한다. SpM은 실시간 시계에 의하여 구동 되는 메소드를 나타낸다. 이 부분에는 메소드의 실행 시각, 종료 시각 및 실행 주기를 기술한다. 실시간 시계는 메소드에 기술된 어떤 값에 도달 할 때 메소드의 실행을 구동하는 장치가 되며 각 메소드는 마감시간을 가진다. SvM은 메시지에 의해 구동 되는 메소드를 나타낸다. 이 부분에서는 타 RTO로부터 메시지를 수신하여 메소드를 구동하게 되며 메소드의 마감시간을 가질 수 있다.

대상 공정을 하나의 RTO로 표현하면 다른 RTO를 호출하는 접근 능력은 없다. ODS는 대상 공정을 크게 두 부분으로 나눈 압연공정과 압연공정 제어가 된다. SpM은 ODS의 두 데이터가 자기자신을 주기적으로 상태를 갱신(update)하는 것으로 표현 할 수 있고, SvM은 타 RTO로부터 메시지에 의해 구동되는 메소드인데 이것은 외부로부터 장입되는 소재로 기술할 수 있다.



(그림 4) 압연공정 RTO의 분할

(그림 4)는 (그림1)의 압연공정 응용 환경으로부터 시물레이션 모델을 RTO 분할하는 과정을 보여주고 있는데, (그림3)의 Top-level RTO로부터 압연공정과 압연공정 제어기의 RTO들로 분할 하고 이들 각각을 다시 분할하여 구현 가능한 단말 RTO가 생성될 때 까지 분할 하여 나간다.

### 3.4 RTO상세 명세를 통한 제어기 및 시물레이터의 상세 설계

RTO를 분할하여 나오는 단말 노드의 RTO를 대상으로 설계 명세를 작성한다. RTO는 4개의 부분으로 구분되는데 (그림 5)에 POR의 RTO 명세가 나타나 있다. 먼저 접근 능력은 RTO 자신이 호출하는 타 RTO들을 기술한다. 여기에서 RTO는 자신이 호출하는 RTO를 나열하고 각 RTO로 전송하는 메시지 타입(type)을 기술한다. 두번째 부분은 ODS인데 여기에는 해당 RTO의 공유 데이터 구조를 기술한다. 세번째 부분은 SpM이며 여기서는 시간 구동 메소드를 기술한다. 각 SpM은 각각의 구동 조건(activation condition)을 가지며 여기에는 RTO의 시작시간(start time), 구동주기(period) 및 마감시간을 정의한다. 네번째는 SvM이며 메시지에 의해 구동되는 메소드를 기술한다. 각각의 SvM은 마감시간을 가지며, 클라이언트 RTO로부터 메시지를 받고 필요한 일을 수행하며 ODS를 갱신하거나 다른 RTO로 메시지를 출력한다.

### 4. 객체지향 설계의 장점

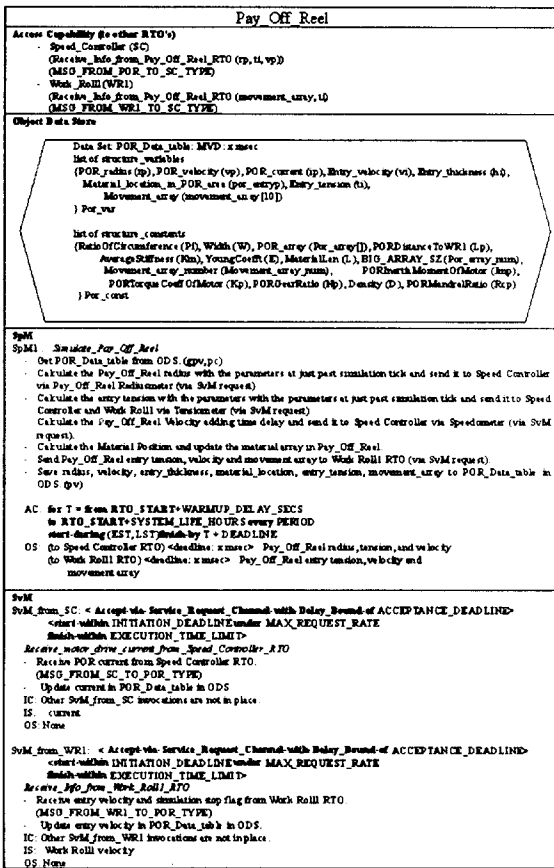
RTO를 기반으로 하는 실시간 컴퓨터 및 시물레이션 설계 방법의 유효성은 다음과 같은 이유에서 찾을 수 있다.

- (1) 적시성(timeliness)을 보증하는 설계 : RTO 객체 구조 및 이를 지원하는 OS 구조는 제어 컴퓨터의 적시성 보증 설계를 구현할 수 있게 한다. 시간 분석 및 검증의 많은 부분은 도구에 의해 자동화 될 수 있으나 적시성을 보증하는 설계 방법은 시간을 기술 하는 부분에서 발생하는 많은 오류를 검출해 내는 노력을 감소하게 하여 준다.
- (2) 제어 컴퓨터 시스템의 다양한 수준의 추상화 : RTO 접근방법은 제어 컴퓨터 시스템의 다양한 수준의 추상화를 가능하게 하여 준다. 예를 들면 설계자는 하나의 RTO로 시스템 전체를 표현할 수 있으며, 이 RTO의 ODS로부터 다수의 요소를 분리하여 새로운 RTO를 분리 확장할 수 있다.
- (3) 요구사항 명세와 설계간의 강한 추적성 : 요구사항 명세와 다단계의 설계 과정에 있어서 동일한 표기법, 동일한 구조 및 동일한 개량 과정을 사용하기 때문에 요구사항 명세와 설계 간의 관계가 명확하고 쉽게 이해할 수 있다.
- (4) 자율적인 서브시스템 : RTO 네트워크 구조에 있어서 각각의 객체는 고도의 자율성을 가지고 있

방법을 지원하는 도구들이 개발되어 실시간 응용의 개발자들에게 제공되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] Alan Burns, Andy Wellings, Real-Time Systems and Their Programming Languages, Addison-Wesley, 1990.
- [2] G. Booch, Object-Oriented Design, Benjamin Cummings, CA.
- [3] K.H. Kim, H. Kopetz, "A Real-Time Object Model RTO.k and an Experimental Investigation of Its Potentials", Proc. COMPSAC 94, Taipei, pp.392-402, Nov. 1994.
- [4] K.H. Kim et al., "A Timeliness-Guaranteed Kernel Model - DREAM Kernel and Implementation Techniques", Proc. Int'l Workshop on Real-Time Computing Systems and Applications, Tokyo, Japan, pp.80-87, Oct. 1995.
- [5] Bernard P. Zeigler, Jinwoo Kim, Extending the DEVS-Scheme Knowledge-Based Simulation Environment for Real-Time Event-Based Control, IEEE Trans. on Robotics and Automations, pp351-359, June 1993.
- [6] K.H. Kim, Y.B. Oh, Real-Time Object Based High Assurance Design of a Control Computer Sytem and an Environment Simulator: A Case Study, Proc. ISSAT Intl Conference on Reliability and Quality in Design, Anaheim, pp.126-134, Mar. 1997.
- [7] Alan Finn, Randall Decker, Chris McClurg, Dayle Harmon, Simulation of Multiple Access Protocols for Real-Time Control, Simulation, pp123-130, Feb. 1992.
- [8] J. Rumbaugh et al., Object-Oriented Modeling and Design, Prentice Hall, New Jersey.
- [9] A. Alan B. Pritsker, Introduction to Simulation and SLAMII, John Wiley & Sons, 1993.
- [10] Averill M. Law, W. David Kelton, Simulation Modeling & Analysis, McGraw-Hill, 1991.
- [11] Vladimir B. Ginzburg, High-Quality Steel Rolling, Marcel Dekker, 1993.
- [12] 김광배외, 압연용 Automatic Gauge Controller의 개발, 한국과학기술연구원, 1995.



(그림 5) 입출력의 RTO 명세

다. 왜냐하면 대부분의 계산 행위가 이루어 지는 SpM이 그들간에 실행 종속성 및 메시지 교환이 거의 없기 때문이다. 이러한 성질을 통해 RTO 네트워크내의 서브시스템의 자율성을 쉽게 확보할 수 있고, 이것은 결과적으로 RTO의 유지보수를 용이하게 하여 준다.

(5) 정형화 및 탄력적인 요구사항 명세 구조 : RTO 구조 표현 양식이 정형화된 형태를 가지고 있고, 사용자가 쉽게 이해할 수 있는 구조를 가지고 있으며 이러한 구조는 다양한 수준의 정밀도로 용이한 표현을 가능하게 한다.

## 5. 결론

RTO 방법을 실시간 제어 컴퓨터 시스템 및 이의 응용 환경 시뮬레이터 개발에 적용한 결과 설계의 용이성, 간결성, 설계 명세의 이해용이성 등 많은 장점이 있음을 확인 하였다. 이 방법은 규모가 크고 복잡한 실시간 응용에 적용할 때 개발 비용의 감소 효과가 클 것으로 생각한다. 이 방법이 복잡한 실시간 응용 개발에 적합함을 확인하였으나, 이 방법이 개발의 각 단계 즉, 분석, 명세, 설계, 구현, 시험 및 실행 등에서 개발자를 효과적으로 지원하기 위해서는 향후 각 개발 단계에서 이