

## Grafcet에 의한 고속 전철의 승강문 운영 모드 분석

양 도철\*, 김 용규\*, 장호성\*\*

\* : 한국 철도 기술 연구원, \*\* : 홍익대학교 전기전자컴퓨터공학부

### Analysis on KTX door operation mode by Grafcet

YANG Doh-Chul\*, KIM Yong-Kyu\*, CHANG Ho-Sung\*\*

\* : Korea Railroad Reaserch Institute, \*\* : Hong-Ik University

**Abstract** - 본 논문은 Grafcet[1]을 이용하여 고속전철 승강문 제어를 실행하기 위한 운영 모드에 대해 논의한다. 고속전철에 사용하는 승강문 제어 관련 동작 상태의 정의 및 제어 조건[2]을 인용하여 승강문 제어를 위한 기본 사양 및 운영자 요구사항을 정의한 다음, 열차편성을 1개의 동력차와 4개의 객차로 가정한 후, 이에 대한 승강문 운영 모드 관련 순차 프로그램을 Grafcet을 이용하여 구성하였다.

### 1. 서 론

고속전철에 있어서 순차제어 관련 Grafcet의 응용에 대한 간단한 예가 통신시스템의 검증에 의해 주어졌다 [3]. 본 논고에서는 Grafcet을 이용하여 고속전철 승강문 제어 실행을 위한 운영 모드에 대해 논의하려 한다. Grafcet은 통신시스템의 검증, 승강문 제어 뿐 아니라 순차 제어와 관련된 대부분의 응용(고속열차, 반도체, 항공, 자동화 시스템, 산업공학...)에 적용되고 있는 프랑스에서 1970년대부터 지속적으로 개발되고 보완된 순차 제어 방식으로 이의 특성은 운영자에게 가장 적합한 형태의 언어로 주어진다.

현재의 고속전철 OBCS(On Board Computer System)는 열차 network에 의해 상호 연결된 다중 프로세서(2개의 주 프로세서, 2개의 보조 프로세서 및 객차 프로세서 유닛)로 구성되며, 각각의 프로세서는 제공된 데이터와 국부 데이터를 저장할 수 있는 고유 메모리를 갖는다. 본 논문에서는 이들 데이터를 이용하여 열차의 자동 제어를 실행하기 위한 예로서 승강문 제어를 선택하였다. 승강문 제어는 승객의 안전에 연관된 열차 기능이 가장 잘 적용된 예로 이의 관련 데이터는 Vital 데이터로 처리된다. 따라서 본 논문에서는 Grafcet의 정의 및 이에 따른 운영자 요구사항에 대해 언급한 후, 실제 응용 분야인 고속전철에서 사용되는 기본적인 용어를 바탕으로 승강문 제어의 운영 모드에 대한 Grafcet을 실행하려 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 Grafcet의 정의

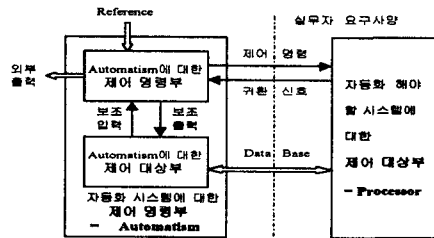
Grafcet은 스텝(Etape), 천이(Transition), 천이 조건(Receptivity) 및 연결선(Liaison) 등 4개의 주요 구성 요소로 주어진다. 사각형으로 표시되는 스텝은 시스템의 입력 또는 출력에 따라 이들 시스템의 일부 또는 전체가 가지고 있는 동작 특성이 불변인 상태를 나타낸다. 하나의 스텝은 활성 또는 비활성 상태로 주어지며 각각의 스텝에 있어서 시스템의 상태에 따라 주어지는 특성을 실행하기 위해서는 스텝의 활성 상태를 정확하게 명기해야 한다. 왜냐하면 스텝에 연관된 동작은 단지 스텝이 활성 상태일 때만 실행시킬 수 있기 때문이다. 수평선으로 표시되는 천이는 스텝의 변화를 표현한다. 즉 천이를 나타내는 심볼 옆에 천이에 관련된 천이조건을

묘사할 수 있으며 "참"인 천이조건은 "1"로써 표현한다. 천이조건은 천이를 동작시키는 조건을 나타낸다. 천이 조건에 시간 개념을 인가할 경우 시간을 나타내는 문자 t. 뒷면에 이들 시간의 시발장소 및 지속시간을 표명한다. 이때 시간의 시발점은 시간 적용 이전 스텝의 활성화 시작 순간부터 주어진다. 연결선은 Grafcet의 진행 방향을 표시한다.

Grafcet의 동작 실행은 "참(1)" 또는 "거짓(0)"에 의해 동작된다. 주어진 천이의 모든 입력 스텝이 활성인 경우 천이는 "참"이 되며, 주어진 천이가 "참"이고 이에 따른 천이조건이 "참"인 경우 천이는 다음 단계로 진행한다.

#### 2.2 운영자 요구 사항

자동화 시스템에 있어서 운영자 요구 사항이란 제어기의 공급자, 설계자, 사용자 사이의 관계를 명시하는 자료를 의미한다. 즉 기술적인 면에서의 운영자 요구 사항이란 제어기기의 역할에 대한 명확함과 분명함을 기본으로 하며 이는 구성된 상세 설명 및 자동화를 실현하고자 하는 장비에 대한 성능을 의미한다. 자동화 시스템은 제어 대상부와 제어 명령부로 명명되는 상호 협조적인 2개의 부분으로 분류된다(그림 1).



(그림 1). 자동 제어 시스템의 구성

제어 대상부는 제어 명령부에 의해 명령이 주어질 경우 이들 명령을 실행하는 역할을 하는 반면 제어 명령부는 제어 대상부가 실행하여야 할 일에 대한 정보를 제공한다. 즉 제어 대상으로부터 귀환되는 자료에 따라 정확하게 제어 대상부를 사용자가 원하는 대로 동작하도록 하는 역할을 한다. 따라서 주어진 명령과 제어 대상부 사이의 정보교환에 따라 제어 명령부는 시스템의 외부(기계 운영자, 사용자, 센서..)와 함께 정보를 상호 교환할 수 있게 된다. 이러한 경우 제어 명령부는 외부에서 입력신호가 제공되거나 출력을 어느 곳에 공급할 것인가 하는 작업을 상세하게 결정한다. 따라서 자동화 시스템 설계자는 구현 할 장비에 대한 성능 및 역할을 설계 사양에 상세 명료하게 설명해야 한다. 이는 운영자 요구사항으로 기술되며 다음과 같이 연속적, 보조적인 두 개의 level로서 구성된다.

• level 1 : 제어 명령부가 내포해야 할 사항을 묘사한다. 이는 실제로 발생 가능한 다양한 문제점에 대해

제어 명령부가 수행할 일을 자동화 시스템 요구자가 이해할 수 있도록 제공하는 기능 사양의 역할을 한다.

- level 2 : 사용할 도구의 기능 조건에 있어서 절대적으로 필요한 정밀성을 기술상의 문제점에 첨가시키는 역할을 한다.

기능 사양으로 불리는 level 1은 설계해야 할 제어 명령부의 역할을 자동화 시스템 요구자에게 이해시킬 목적 하에 제어 대상부에서 유출되는 정보에 직면한 자동화 시스템의 반응을 특성화한다. 이는 제어 대상부의 자동화 과정에서 사용될 명령 체계, 정보 시스템 및 다양한 기능 등을 명확한 방법으로 정의해야 한다. 한 예로 level 1에 있어서 전기 모터, 수압 또는 공기압을 이용하여 축 이동을 실행하는 것은 중요치 않다. 단지 어떠한 조건 하에서 이러한 축 이동을 실행할 것인가 하는 점이다.

기술 및 운영 사양으로 언급되는 level 2는 제어 명령부가 자동화해야 할 시스템 및 그 주변 환경을 구성하는데 본질적으로 수용해야 할 내용을 정확하게 표명해 준다. 이는 실제로 제어 대상부가 제어 명령부를 받아들일 수 있도록 허용하기 위해 level 1에 보충적으로 인가되는 상세 사양을 의미한다. 또한 level 2는 검지기, 구동기 등의 특성, 파생 가능한 제약 조건 등에 대한 모든 정보는 물론 제어 명령부의 인터페이스에 관련된 주변 환경에 대한 사양(온도, 습도, 먼지, 사고, 공급 전원 등...)도 추가된다.

### 2.3. 승강문 제어에 사용되는 용어 정의

열차 승강문은 객차 좌우에 각각 1개씩 설치되어 있으며, 참고 자료 [2]에서 주어진 고속전철에서 사용하는 승강문 관련 용어를 재정의하면 다음과 같다.

상 태	설 명
열림	승강문이 완전히 열린 상태로 전기적으로 검지 되는 경우.
반열림	승강문이 열림과 닫힘의 중간 상태로 존재 하며 수동 동작이 가능한 경우
닫힘	승강문이 기계적으로 닫힌 경우
승강문 닫힘 및 차단	승강문의 닫힘 상태를 각각의 승강문에 위치 한 개폐 스위치로 개폐할 수 없는 경우
밀폐	승강문이 닫힌 상태로 공기 차폐 작용이 동작하는 경우
폐쇄	승강문을 사용할 수 없는 상태이지만 전기적으로 제어가 가능한 경우

〈 표 1 〉 열차 승강문 제어 관련 동작 상태

모든 승강문은 유압 기기에 의해 승강문 발판의 유입, 유출 및 승강문 개폐를 실행하며 이들 작용은 연속, 순차적으로 차단, 밀폐, 폐쇄 등의 동작을 실행한다.

열차의 승강문 운영 시스템은 승객의 안전에 연관된 열차 기능이 가장 잘 적용된 예로 이는 18개의 프로그램으로 구성된다[2]. 모든 프로그램은 PVM(Parallel Virtual Machine)에 의해 병렬로 실행되며, 관련 응용 S/W는 27개의 C 프로그램과 2 개의 특수 파일로 다음과 같다.

- 2개의 특수 파일 : Makefile, init.h
- 1개의 초기화 작업 응용 프로그램 : initialization.c
- 2 개의 PVM 운영용 응용 프로그램 : main.c, client.c
- 3 개의 인터페이스 운영용 응용 프로그램 : ask.c, interface.c, print.c
- 18 개의 door 운영용 응용 프로그램 : signaling, operationmode1, operationmode2, openClosure1, openClosure2, doorClosure1,

doorClosure2, doorOpening1, doorOpening2, blkngCntl1, blkngCntl2, detObstcl1, detObstcl2, spdthrs, emeractn, clsFault1, clsFault2, light.c.  
3개의 dsm과 group 통신 응용 프로그램 : dsm.c, bcast.c, message.c

## 3. Grafcet의 구성

### 3.1. 승강문 제어 작용 설명

각각의 객차는 두 개의 승강문을 가지며 각각의 승강문은 Electro-pneumatic 장비와 함께 고정되어 있다. 이들의 기계 설비는 미리 설정된 승강문 개폐, 차단 또는 사용하지 않는 승강문의 차폐를 실행할 수 있도록 주어진다. 수동 동작은 승강문의 열림 또는 반열림이 실행될 경우, 객차의 내부 또는 외부에서 수동으로 작동시킬 수 있는 승강문의 일시적인 밀폐 작용을 허용한다. 만약 승강문의 열림 또는 반열림이 실행될 경우, 그리고 개폐가 진행중이 아니거나 어떠한 전력도 인가되지 않는 경우에도 이러한 수동 조작이 가능하다. 또한 안전성의 이유로 인해, 어떠한 장애물이 승강문 닫힘 동작 중에 검출될 경우, 승강문은 완전히 개방된 후 승강문 닫힘 절차는 재 시작된다.

### 3.2. 승강문 제어에 사용되는 명령어 정의

Grafcet에 사용되는 명령어는 다음과 같이 정의된다. 이는 KTX에 사용되는 명령어를 본 논문에서 구성된 Grafcet에 적용하기 위해 최소한의 명령어 수로 제한한다.

#### • 정보의 형태

약어	신호 명	사용 장소
OC_...	동력차 출력	APU/MPU
IT_...	객차 입력	TPU
OT_...	객차 출력	TPU
T_...	전송된 변수	
.M_...	MPU 변수	
.A_...	APU 변수	

※ MPU : Main Processor Unit  
APU : Auxiliary Processor Unit  
TPU : Trailer Processor Unit

• 차상실에 위치한 발광 누름 스위치 : 동력차에 위치하며 단지 기관사에 의해서만 동작.

약어	신호 명
PB_CS_BL_01	모든 승강문의 닫힘 및 차단
PB_OP_L_01	왼쪽 승강문 열림
PB_OP_R_01	오른쪽 승강문 열림

• 폐쇄 스위치 : 열차 승무원에 의해서만 동작 가능.

약어	신호 명
SW_IS_11	승강문 방향 1
SW_IS_22	승강문 방향 2

• 동력차 입력 : 동력차에 위치한 누름 스위치에서 발생하는 이들 정보는 프로세싱을 위한 MPU와 APU용 입력 신호로 구성됨.

약어	설명	신호
IM_PBCSBL01	승강문의 닫힘 및 차단	1 or 0
IA_PBCSBL01	승강문의 닫힘 및 차단	1 or 0

• 동력차 출력 : 동력차 입력 처리 후 MPU 또는 APU 에 의해 주어지는 출력 신호.

약어	설명	신호
OM_PBCSBL01	차단된 승강문 신호	1 or 0
OA_PBCSBL01	차단된 승강문 신호	1 or 0

• 객차 입력 : 동력차, 객차 및 다양한 검지기로부터 유입되는 데이터 처리를 위한 객차 프로세서 입력 신호

약어	설명	신호
IT_PSOPB01	비상 제어	1 or 0
IT_SWIS11	승강문 방향 1 차폐	1 or 0
IT_SWIS22	승강문 방향 2 차폐	1 or 0
IT_PBCSBL01	정상시의 승강문 닫힘 제어	1 or 0

• 객차 출력 : 객차 입력 처리 후 객차 프로세서에 의해 주어지는 출력 신호.

약어	설명	신호
OT_MVCS11	방향 1 승강문 닫힘	1 or 0
OT_MVCS22	방향 2 승강문 닫힘	1 or 0

• 동력차 network 메시지 : 동력차용 변수를 전송.

약어	설명	목적지
T_PBCSBL	승강문 차단과 함께 주어지는 닫힘 제어	객차
T_LSB	사용중인 운영 판넬	동력차

• 객차 network 메시지 : 객차용 변수를 전송

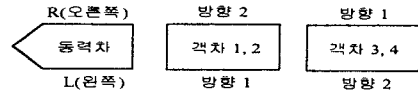
약어	설명	목적지
T_PBCSBL	승강문 닫힘 제어	객차, 동력차
T_GBL11	차단된 방향 1 승강문	동력차
T_GBL22	차단된 방향 2 승강문	동력차
T_GLK11	비차단된 방향 1 승강문	동력차
T_GLK22	비차단된 방향 2 승강문	동력차
T_SWIS11	승강문 방향 1 차폐	동력차
T_SWIS22	승강문 방향 2 차폐	동력차

• local 변수 : 동력차 및 객차용 내부 변수.

약어	설명	목적지
SP5	5km/h의 속도 제한	객차
SP30	30km/h의 속도 제한	동력차
BL	차단 제어	객차
CSBL11	방향 1 차단	객차
CSBL22	방향 2 차단	객차

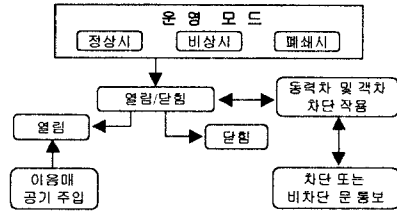
### 3.3. Grafcet의 실행

본 논문에서는 20량으로 편성(2개의 동력차, 2개의 모터차, 16개의 객차)된 KTX 시스템에서 사용하는 본래의 사양을 1개의 동력차와 4개의 객차로 편성된 열차로 제한하여 열차의 승강문 운영을 위한 데이터 처리 사양 및 이에 따른 자동화 시스템 구성에 대한 연구를 실행한다(그림 2). 또한 고속 전철의 특성에 따른 승강문 제어 순서, inflatable seal 및 공기 배출기의 닫힘 등에 대한 운영은 본 논문에서 제외한다.



(그림 2). 열차 배열도

승강문 제어관련 실제 블럭도는 그림 3과 같이 주어지며, 본 논문에서는 이들의 운영 모드에 대한 grafcet 만을 취급한다. 운영 모드의 주요 특징은 정상 동작의 경우와 비상시의 경우 발생하는 열차 문 제어, 열차 문 폐쇄에 따른 운영 방식의 세 가지로 분류된다.



(그림 3). 승강문 운영 모드

고속전철은 열차의 전두부와 후두부에 각각 하나의 차상실을 갖는다. 일반적으로 열차의 운행시 이들 두개의 차상실중 하나가 사용되는데, 승강문 제어는 동작중인 차상실, 대기 상태 조건 또는 열차 내·외부에 존재하는 개개의 승강문 조작 장치에 의해 개폐된다. 만약 승강문이 밀폐 또는 차폐되지 않은 경우에는 제어 방식에 관계없이 개폐 가능하지만 승강문이 열린 상태이고, 열차 속도가 5km/h의 속도 제한을 초과할 경우, 열림 작용은 즉시 차단되고 닫힘 제어가 실행된다. 그러나 승강문이 완전히 열린 상태인 경우 열림 제어가 더 이상 실행될 수 없으며 열림 제어는 단지 차상문이 차단되지 않은 경우에만 국부 제어가 가능하다.

동작중인 차상실, 대기 상태 조건 또는 객차(1,4)에 의한 제어는 설정된 운영 조건에 따라 승강문 비차단 또는 선택된 열림 방향(또는 왼쪽, 오른쪽)과 순차 명령에 의해 연속적으로 모든 승강문을 제어할 수 있으며, 이는 다음과 같이 동작한다:

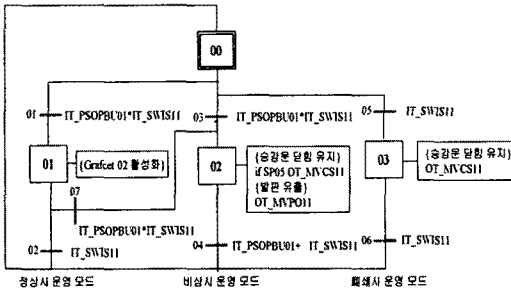
- 열차 속도가 5km/h이하인 경우, 선택된 방향의 승강문은 차단되지 않으며, 열림 제어가 인가된다.
- 열차 속도가 5km/h이상인 경우, 제어는 메모리에 명시되어 있으며, 선택된 방향의 승강문은 닫힌 상태 및 차단 상태를 그대로 지속한다. 그러나 열차 속도가 5km/h이하로 감소되는 경우, 선택된 방향의 승강문은 차단되지 않으며, 닫힘 및 잠금 상태는 유지되지만 국부 제어에 의해 개방할 수 있다.

제어 형태에 관계없이 승강문은 밀폐되어 있지 않은 경우에만 닫힘 작용을 실행할 수 있으며, 데이터 처리 시스템이 사용될 경우, 이미 닫힌 모든 승강문은 "닫힘 유지" 명령을 수신한다. 이에 따라 승강문은 닫힘 및 차단을 실행할 수 있으며 일반적인 승강문 닫힘 동작은 다음의 조건 하에 실행된다:

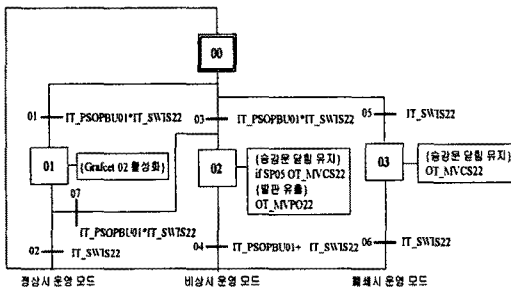
- 운영중인 차상 또는 사전에 설정된 조건에 따른 닫힘 요청의 경우 : 인가된 명령에 따라 모든 승강문의 닫힘 및 차단을 실행할 수 있다.
- 닫힘 명령을 인가할 수 있는 객차의 경우 : 2개의 객차(1번과 4번 객차)는 승강문 닫힘 명령을 인가할 수 있다. 그 결과 닫힘 위치에 놓여있는 제어 장치는 모든 승강문의 닫힘 및 차단을 실행할 수 있다.
- 5km/h의 속도 제한시 : 차축 미끄럼 방지기에 의해 표시되는 속도에 따라 데이터 처리 시스템에서 제한 속도가 운영된다. 제한 속도가 5km/h에 도달할 경우 모든 승강문에 닫힘 명령이 인가되며 승강문은 차단된

다. 열차 속도가 주어진 제한 속도 이하이고, 승강문이 다른 제어 명령에 의해 차단되지 않는 경우, 승강문은 비차단된다.

언급된 각각의 동작에 관련된 Grafcet는 그림 4로 주어지며, 그림에 있어서 “:”는 “AND”를, “+”는 “OR”를, “/”는 “NOT”을 의미한다. 참고로 열차 속도의 상승시 실제 데이터 처리는 6km/h 이상에서 동작하지만 반대로 속도 하강시에는 5km/h이내에서 실제적인 데이터 처리가 이루어지지 않는다.



(a) 방향 1의 경우



(b) 방향 2의 경우  
(그림 4). 승강문 개폐에 대한 운영 모드

그림 3에서 열림/닫힘 관련 Grafcet을 Grafct02, 닫힘 관련 Grafct을 Grafct03, 열림 관련 Grafct을 Grafct04라고 정의할 경우, 승강문 관련 순차 제어는 본 논문에서 주어진 운영 모드 관련 Grafct 실행 후 순차 제어 순서에 따라 Grafct02, Grafct03, Grafct04, 등으로 진행된다.

그림 4에서 스텝00는 Grafct의 시작을 의미하며, 이는 진행 방향에 따라 정상시 운영 모드(스텝00→스텝 01→스텝00), 비상시 운영 모드(스텝00→스텝02→스텝 00), 폐쇄시 운영 모드(스텝00→스텝03→스텝 00)로 분류된다.

그림 4a에 있어서 스텝00는 객차 입력인 비상시 입력 (IT\_PSOPBU01)과 승강문 방향 1의 차폐(IT\_SWIS 11)를 동시에 만족할 경우 천이01을 통해 스텝01로 진행된다. 비상시 입력의 비유입(/IT\_PSOPBU01)과 승강문 방향 1의 차폐(IT\_SWIS11)를 동시에 만족할 경우에는 천이03을 통해 스텝02로 진행된다. 승강문 방향 1의 비차폐시(/IT\_SWIS11)에는 천이05를 통해 스텝 03로 진행된다.

스텝01의 활성화는 Grafct02의 동작 실행을 의미한다. Grafct02는 운영 모드 이후 순차 제어에 따라 열림/닫힘 동작을 실행하는 Grafct을 의미한다(그림 3 참조). 따라서 Grafct02의 실행 후, 천이03의 천이조건인 승강문 방향 01의 비차폐 실행시(/IT\_SWIS11), 스텝00로 귀환하여 대기 상태가 된다. 그러나 비상시의 입력 비유입(/IT\_PSOPBU01)과 승강문 방향 1의 차

폐(IT\_SWIS11)를 동시에 만족할 경우에는 천이07을 통해 비상시 운영 모드를 나타내는 스텝02로 진행된다.

스텝02는 열차 속도가 5km/h를 유지할 경우, 방향 1의 승강문 닫힘 동작을 처리할 객차 프로세서에 의해 주어지는 객차 출력 정보인 승강문 닫힘(OT\_MVCS 11)과 방향 1의 발판 유출(OT\_MVPO11) 정보를 유지한다. 스텝02가 활성화할 경우, 천이04로 진행하며 비상시 입력(IT\_PSOPBU01)과 승강문 방향 1의 비차폐 (/IT\_SWIS11) 중 어느 하나의 조건을 만족할 경우, 천이 04를 통해 스텝00로 귀환한다.

스텝03은 객차 출력 정보인 승강문 닫힘(OT\_MVCS 11)을 나타내며, 스텝03의 활성화시 천이06으로 진행된다. 그 결과 천이06의 천이조건인 승강문 방향 01의 차폐(/IT\_SWIS11) 정보 입력시, 스텝00로 귀환한다. 방향 2에 대한 Grafct 해석도 위와 동일한 방법에 의해 진행된다. 관련 Grafct는 그림 4b로 표현된다.

4. 결론

본 논문에서는 고속전철에 사용되는 순차 제어를 이해 하기 위해 고속전철의 승강문 운영 모드 관련 Grafct를 예로 연구 분석하였다. 주어진 Grafct는 다른 형태로도 표현 가능하며, 실제적인 자동화 시스템 구성시 문제점을 유발할 가능성도 존재할 수 있다. 열차 편성의 경우, 현재 운행 예정인 고속열차의 실제적인 편성을 고려할 경우, 본 논문에서 제시한 1개의 동력차와 4개의 객차가 아닌 2개의 동력차와 12, 14, 또는 16개의 객차 시스템으로 확장하여 취급해야 할 것이다. 또한 각각의 운영 동작에 대해서도 좀 더 상세한 사상을 언급함으로써 발생 가능한 모든 사건(Event)은 안전측으로 동작할 수 있도록 고려해야한다.

향후의 연구 방향은 본문에서 언급한 운영 모드에 따라 부수적으로 주어지는 Grafct(02, Grafct03..)에 대한 연구가 우선적으로 진행되어야 하며, 특히 고속전철의 도입을 계기로 OBSC(On Board Computer System)에서의 데이터 처리 및 관련 열차 통신 network (Train Communication Network)와의 인터페이스, Fault Tolerant에 따른 Vital 데이터 및 Non-vital 데이터 처리 까지 언급되어야 하며 고속전철의 데이터 처리 시스템은 RAMS의 개념이 고속전철의 데이터 처리 시스템에 적용됨에 따라 이에 대한 연구가 함께 병행되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] M.BLANCHARD, "comprendre, maitriser, et appliquer LE GRAFCET", cepadues-edition, Toulouse, p.174, 1994.
- [2] 한국고속철도공단, "Rolling Stock system engineering".
- [3] 김용규, 최강운, "열차제어용 정보전송방식 분석", 한국철도기술, 제20호, pp33-42, 1999.