

# ISO 26262에 부합한 능동형 안전벨트 제어 시스템의 하드웨어 아키텍처 설계 및 검증

## Design and Verification of the Hardware Architecture for the Active Seat Belt Control System Compliant to ISO 26262

이 준 혁\* · 곽 현 철\*\* · 이 경 중\*\*\* · 안 현 식†

(Jun Hyok Lee · Hyun Chul Koag · Kyung-Jung Lee · Hyun-Sik Ahn)

**Abstract** - This paper presents a hardware development procedure of the ASB(Active Seat Belt) control system to comply with ISO 26262. The ASIL(Automotive Safety Integrity Level) of an ASB system is determined through the HARA(Hazard Analysis and Risk Assessment) and the safety mechanism is applied to meet the required ASIL. The hardware architecture of the controller consists of a microcontroller, H-bridge circuits, passive components, and current sensors which are used for the input comparison. The required ASIL for the control systems is shown to be satisfied with the safety mechanism by calculation of the SPMF(Single Point Fault Metric) and the LFM(Latent Fault Metric) for the design circuits.

**Key Words** : ISO26262, Functional safety, HARA(Hazard Analysis and Risk Assessment), ASIL(Automotive Safety Integrity Level), ASB(Active Seat Belt), DC motors

### 1. 서 론

최근 차량 안전 기준 및 각국의 환경 규제가 강화됨에 따라 이를 만족시키기 위해 차량에 적용되는 전기/전자 장치 및 소프트웨어 비중이 크게 증가하고 있다. 이에 따라, 복잡해진 전기/전자 장치 개발과정에서의 오류 및 전장 부품의 고장 등을 줄여 신뢰성을 향상시키는 기능 안전(Functional Safety)의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 기능 안전성이란 센서, 제어기, 액츄에이터로 구성된 전자 제어 시스템의 기능 오류로 인한 잠재적 위험 상황을 분석하고, 이에 대한 대책을 수립하여 위험원을 제거 혹은 최소화함으로써 차량의 기능 안전을 확보하는 것이다[1][2]. 최근, 유럽의 완성차 업체 및 주요 부품 업체를 중심으로 제품 개발 프로세스 및 안전 요구사항에 대한 철저한 검증절차를 개발하여 자동차에 탑재되는 하드웨어 또는 소프트웨어의 오류로 발생하는 사고를 방지하기 위한 국제 차량 기능 안전표준인 ISO 26262가 제정되었다[3]~[5]. 이 표준은 차량의 개발 초기부터 생산, 폐기에 이르는 전체 생명주기에서의 안전 관련 요구사항을 포함하며 총 10개의 파트, 43개의 요구 사항 및 권고 사항으로

구성되었다.

또한, 기계 중심의 자동차 기술에 최신의 전기/전자 장치 및 정보통신 기술을 융합하여 교통사고를 획기적으로 감소시키고, 운전자 및 탑승자의 만족을 극대화시키기 위한 관련 기술개발이 안전과 편의 분야에서 활발히 진행 중 이다. 이 중 안전 분야 기술은 자동차의 상태 및 주변 상황을 인식하는 기술, 도로의 상태와 교통정보를 제공하는 통신 기술 및 차량 제어 기술의 융합을 통해 교통사고를 획기적으로 저감할 수 있는 기술이다[6][7]. 이러한 안전 분야의 주요 기능 중 하나인 능동형 안전벨트(Active Seat Belt, ASB) 시스템은 프리텐서너만을 이용하는 기존 안전벨트 시스템에 모터 구동 기구부 및 제어기를 장착한 시스템으로써, 일종의 충돌 예방 안전장치이다. 이 시스템은 전방 차량에 대한 상대 거리와 속도 등의 정보에 기반하여 충돌 상황을 미리 경보하며, 충돌 위험도에 따라 DC모터를 적절히 구동함으로써 안전벨트를 자동으로 조절하여 사고로부터 탑승자를 보호한다[8].

본 논문에서는 ASB 시스템의 기능 안전성을 확보하기 위하여 ISO 26262의 수 많은 요구사항 중 우선, 개념 및 시스템 설계 요구사항으로부터 하드웨어에 대한 요구사항이 부합하도록 ASB 제어시스템의 하드웨어를 설계하는 절차를 제시한다. 우선, 선정된 아이템에 대한 위험원 분석 및 리스크 평가(Hazard Analysis and Risk Assessment, HARA)를 통하여 시스템의 요구 ASIL 등급을 선정하고, 해당 등급에 요구되는 하드웨어 아키텍처 및 관련 고장률 등을 검증한다. 또한, 고장 센서 판단용 추정기를 설계하고 시뮬레이션을 통하여 적용 유용성을 보인다.

† Corresponding angles Author : Dept. of Electronic Engineering, Kookmin University, Korea.  
E-mail: ahs@kookmin.ac.kr

\* Dept. of Electronic Engineering, Kookmin University, Korea.

\*\* Dept. of Secured-Smart Electric Vehicle, Kookmin University, Korea.

\*\*\*Smart Car Research Team, Hyundai Mobis.

Received : October 27, 2016; Accepted : November 7, 2016

## 2. ASB 시스템 모델링 및 추정기 설계

### 2.1 ASB 시스템 구성 및 수학적 모델링

차량 안전장치 중 하나인 안전벨트 시스템은 사고 시 운전자와 탑승자의 안전을 보장하는 장치이다. 하지만 기존의 안전벨트 시스템은 기계적인 장치에 의한 수동 안전시스템으로써, 사고 시점 혹은 사고 시점 이후에만 운전자와 탑승자를 보호한다. 이러한 기존의 수동 안전시스템을 사고 시점 이전부터 운전자와 탑승자를 보호하는 능동 안전시스템으로 개선하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. ASB 시스템은 기존의 안전벨트 시스템에 전자 제어 장치와 DC모터를 추가한 능동 안전시스템이다. ASB 시스템의 구조는 그림 1과 같으며 크게 DC모터로 구성된 전기부(Electrical Part)와, 내부기어 및 클러치 등으로 구성된 기구부(Mechanical Part)로 구분한다. ASB 시스템의 정확한 동작을 구현하기 위해서는 전자 제어 시스템에 추가적인 센서를 이용하여 DC모터에 인가되는 전류, 모터 회전각과 각속도 등의 정보를 측정해야한다[9]. 본 논문에서는 기능 안전성이 보장된 ASB 시스템의 하드웨어 아키텍처를 설계하는 것이 목표이며, 기능 안전성의 정의는 전기/전자 장치의 오류로부터 운전자 및 탑승자의 안전을 보장하는 것이기 때문에 ASB 시스템의 전기부에 대한 하드웨어 아키텍처로 제한한다.

ASB 시스템의 블록선도는 그림 2와 같이 전기부와 기구부로

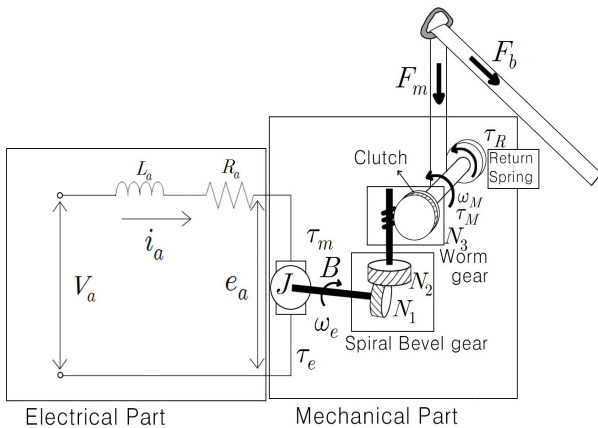


그림 1 ASB 시스템 구조  
Fig. 1 ASB system architecture

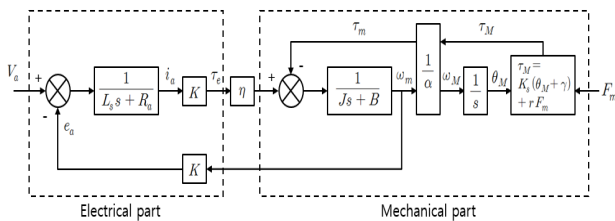


그림 2 ASB 시스템 블록선도  
Fig. 2 Block diagram of ASB system

구성되며, 여기서 \$V\_a\$는 모터 입력 전압, \$i\_a\$는 모터 입력 전류, \$L\_a\$는 모터 인덕턴스, \$R\_a\$는 모터 저항, \$\omega\_m\$은 모터의 각속도, \$K\$는 역기전력 상수, \$J\$는 모터의 이너서, \$B\$는 점성마찰계수, \$\tau\_d\$는 외란 토크, \$r\$은 릴의 반경, \$K\_s\$는 스프링 계수, \$\eta\$는 능동형 안전벨트 시스템의 효율, \$\alpha\$는 기구부에 작용하는 토크와 DC 모터에 작용하는 모터의 기어비를 의미한다. 상태변수를 \$x(t) = [i\_a \ \omega\_m \ \tau\_d]^T\$, \$\tau\_d\$ = 상수로 가정하면 다음 식 (1)의 상태방정식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K}{L_a} & 0 \\ \frac{K \cdot \eta}{J} & -\frac{B}{J} & -\frac{1}{J} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \ 0 \ 0]$$

이고, DC 모터 상수 및 각 파라미터는 표 1과 같다[9].

표 1 DC모터 상수 및 파라미터

Table 1 DC Motor constant and parameters

기호	값	단위
$R_a$	0.224	$\Omega$
$L_a$	$180 \times 10^{-6}$	$H$
$K$	0.0078	$V/(rad/sec)$
$J$	$3.92 \times 10^{-6}$	$kg \cdot m^2$
$B$	$3.10 \times 10^{-5}$	$Nm/(rad/sec)$
$r$	0.025	$m$
$K_s$	$4.56 \times 10^{-3}$	$Nm/(rad/sec)$
$\eta$	0.45	-
$\alpha$	48.46	-

### 2.2 ASB 시스템의 상태 추정기 설계

위에서 구한 ASB 시스템의 상태 공간 방정식을 이용하여 추정기를 설계하며, 이 추정기의 출력을 이용하여 특정센서의 고장 여부를 판단하도록 한다. ASB 시스템의 상태 공간 방정식으로부터, 시스템에 대한 추정기의 상태 공간 방정식은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 \$\hat{x}\$은 상태 변수인 \$x\$의 추정값이며, \$L\$은 추정기의 이득행렬이다.

$$\begin{aligned} \hat{\dot{x}}(t) &= A\hat{x}(t) + Bu(t) + L[y(t) - \hat{y}(t)] \\ \hat{y} &= C\hat{x}(t) \end{aligned} \quad (2)$$

추정 오차를 식 (3)과 같이 정의하면, 식 (4)와 같이 오차 방정식을 얻을 수 있다.

$$e(t) = x(t) - \hat{x}(t) \tag{3}$$

$$\dot{e} = (A - LC)e(t) \tag{4}$$

오차에 대한 특성 방정식은 식 (5)와 같으며, 추정기가 안정하고 과도 응답이 페루프 시스템의 과도 응답보다 더 빠르도록 추정기의 고유치를 선정할 후 특성 방정식의 근과 비교하여 L의 값을 정한다.

$$\det[sI - (A - LC)] = 0 \tag{5}$$

따라서, 본 논문에서는 오차 특성 방정식의 근을  $-800 \pm j1000$ ,  $-2500$  으로 선정하고 이에 대응되는 L 행렬을 구하였다[10].

### 3. ISO 26262를 준수한 ASB 제어 시스템의 하드웨어 설계

#### 3.1 Hazard Analysis and Risk Assessment

하드웨어 설계 시 먼저 ASB 시스템의 오작동으로 인해 발생할 수 있는 위험원을 분석하고, 안전성에 미치는 영향인 리스크를 평가하여 개발 제품의 ASIL 등급과 안전 목표를 도출한다. 또한, HARA 수행 시 개발 제품의 위험원이 발생할 수 있는 동작 상황들을 분석해야하며 내부 안전 메커니즘을 고려하지 않고 개발 제품을 평가해야 한다. ISO 26262에서 제시하는 위험원 분석에서는 표 2와 같이 심각성(Severity: S), 노출성(Exposure: E) 및 가제어성(Controllability: C) 등급에 따라 ASIL 등급을 결정한다. 차량의 운행상황인 도로표면, 날씨, 속도 등 외부 환경 요인들을 고려하여 아이템의 위험 시나리오를 파악하고, 각 위험 시나리오의 S, E, C 파라미터는 ISO 26262 Part 3 Annex B를 기준으로 결정한다. 하

표 2 심각성, 노출성, 가제어성에 따른 ASIL 등급  
Table 2 ASIL determination according to S, E and C ratings

Severity class	Probability class	Controllability class		
		C1	C2	C3
S1	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	QM
	E3	QM	QM	A
	E4	QM	A	B
S2	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	A
	E3	QM	A	B
	E4	A	B	C
S3	E1	QM	QM	A
	E2	QM	A	B
	E3	A	B	C
	E4	B	C	D

나의 위험 시나리오로 가정할 의도하지 않은 DC 모터 동작 (Unintended DC Motor operation) 중 DC 모터의 과도한 동작 (Over Operation)에 대하여 ASB 시스템의 HARA를 수행한 결과는 표 3과 같이 ASIL B등급으로 결정되었다. 본 논문에서 ASB 시스템의 DC모터 고장은 기준값보다 과도하게 동작하는 경우를 고려한 것이며, 안전 메커니즘을 적용하여 ASB 시스템이 ASIL B를 만족할 수 있도록 하드웨어를 설계한다[11].

#### 3.2 제어 시스템의 하드웨어 아키텍처 설계

본 논문에서 적용하는 안전 메커니즘은 ISO26262 Part 5 Annex

표 3 ASB 시스템의 HARA 수행 결과

Table 3 HARA for ASB system

Level	Vehicle
Request	DC Motor request
Failure Mode	Unintended DC Motor operation
Driving Scenario	City
Failure Impact	Over operation
Severity	S1
Exposure	E4
Controllability	C3
ASIL	B
Safety Goal	Intended DC Motor operation

표 4 Annex D Table D.11 - Sensors

Table 4 Annex D Table D.11 - Sensors

Safety mechanism/measure	See overview of techniques	Dignostic Coverage
Failure detection by online monitoring	D.2.1.1	Low(60%)
Sensor rationality check	D.2.10.3	Medium(90%)
Input comparison/voting (1oo2, 2oo3 or better redundancy)	D.2.6.5	High(99%)

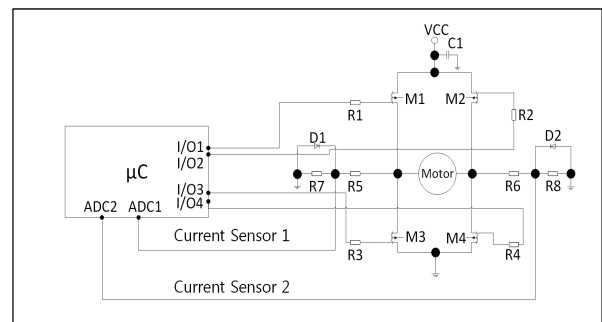


그림 3 안전 메커니즘이 적용된 DC모터 제어 회로도  
Fig. 3 DC Motor control circuit diagram applied safety mechanism

D의 Table D.11 기반으로 센서 이중화(Inuput comparison/voting)를 채택하며, 이것은 표 4에 나타난 바와 같다. 할당된 ASIL 등급에 따른 하드웨어 평가 기준을 만족하기 위한 DC모터 제어 회로도에는 그림 3과 같다. DC모터 회로에 안전 메커니즘을 적용하기 위해 S1, S2와 같이 DC모터 제어를 위한 전류 센서를 이중화한다[12] [13].

#### 4. 하드웨어 아키텍처 메트릭 계산 절차

설계된 하드웨어 아키텍처의 ASIL 등급을 확인하기 위하여 하드웨어 아키텍처 관련 메트릭을 검증할 필요가 있다. 일반적으로, 하드웨어를 정량적으로 평가하기 위해서는 그림 4와 같이 고장 분류 순서도에 따라 안전 목표에 영향을 미치는 하드웨어의 고장 형태를 분류한다. 하드웨어의 정량적인 평가는 즉시 또는 잠재적으로 안전 목표를 위배할 수 있는 아래와 같은 결함들을 고려하여 수행한다.

- **단일점 결함 (Single-Point Fault)**
  - 결함에 대한 안전 메커니즘이 존재하지 않으며, 발생 즉시 안전 목표를 위배하는 결함
- **잔존 결함 (Residual Fault)**
  - 안전 메커니즘이 존재하지만, 안전 메커니즘에 의해 보완되지 않아 발생 시 안전 목표를 위배하는 결함
- **다중점 결함 (Multiple-Point Fault)**
  - 다른 독립 결함과 결합하여 다중점 고장 (Multiple- Point Failure)을 일으키는 개별 결함
  - 감지 결함, 인지 결함, 잠재 결함으로 분류되며, 이 중에서 잠재 결함은 안전 메커니즘에 의해 검출되지 않거나 또는 운전자에 의해 인지되지 않은 경우로서 잠재적으로 안전 목표를 위배 할 수 있는 결함

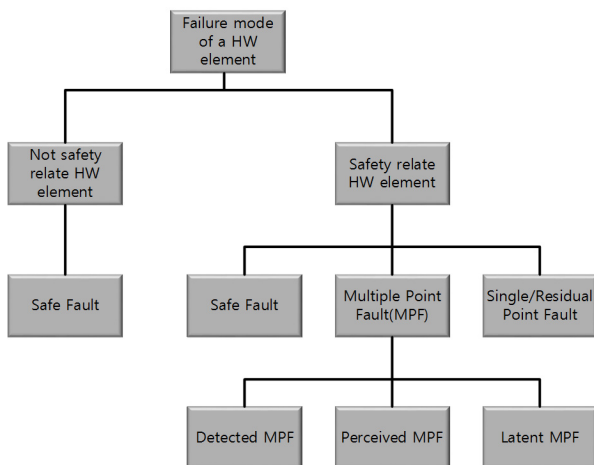


그림 4 하드웨어 고장 형태 분류도  
Fig. 4 Failure mode classification of hardware element

표 5 ASIL 등급에 따른 SPFM 및 LFM의 목표치  
Table 5 Targets for the SPFM and LFM

	ASIL B	ASIL C	ASIL D
SPFM	≥ 90%	≥ 97%	≥ 99%
LFM	≥ 60%	≥ 80%	≥ 90%

하드웨어 아키텍처 메트릭은 안전과 관련된 하드웨어 아키텍처의 유효성을 평가하기 위한 지표로서 두 가지 메트릭을 사용한다. SPFM(Single Point Fault Metric)은 하드웨어에 존재하는 모든 결함에 대하여 단일점 결함과 잔존결함을 제외한 결함의 비율로 정의되며, 식 (6)과 같이 표현한다. LFM(Latent Fault Metric)은 즉시 고장을 유발하는 단일점 결함 및 잔존 결함을 제외한 결함 중 안전하거나 감지 또는 인지되어 잠재적으로 안전 목표를 위배하지 않는 결함의 비율로 정의되며, 식 (7)과 같이 표현한다. 이를 통해 계산된 하드웨어 아키텍처 메트릭의 결과값을 표 5에 나타난 ASIL 등급에 따른 SPFM 및 LFM 목표치와 비교하여 기준 만족 여부를 확인한다[13].

$$SPFM = 1 - \frac{\sum_{SR} (\lambda_{SPF} + \lambda_{RF})}{\sum_{SR} (\lambda)} = \frac{\sum_{SR} (\lambda_{MPF} + \lambda_S)}{\sum_{SR} (\lambda)} \quad (6)$$

$$LFM = 1 - \frac{\sum_{SR} (\lambda_{MPF Latent})}{\sum_{SR} (\lambda - \lambda_{SPF} - \lambda_{RF})} = \frac{\sum_{SR} (\lambda_{MPF P/D} + \lambda_S)}{\sum_{SR} (\lambda - \lambda_{SPF} - \lambda_{RF})} \quad (7)$$

$\lambda_{SPF}$ : 단일점 결함 고장률,  $\lambda_{RF}$ : 잔여 결함 고장률,  
 $\lambda_{MPF}$ : 다중결함 고장률,  $\lambda_{MPF P/D}$ : 감지 및 인지 결함 고장률,  
 $\lambda_S$ : 안전 결함 고장률,  $\lambda$ : 전체 결함 고장률

#### 5. ASB 시스템의 안전 메커니즘 성능 검증

##### 5.1 안전 메커니즘 검증

ASB 시스템과 추정기를 기반으로, ASB 시스템에 적용한 안전 메커니즘의 성능을 검증하기 위해 MATLAB/Simulink를 이용하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션에서는 탑승자의 신체적 조건에 관계없이 같은 압력으로 안전벨트를 조이기 위해서, 안전벨트가 일정한 장력을 유지할 수 있도록 전류 제어기를 사용하여 DC모터에 흐르는 전류에 따라 인가되는 전압을 조절한다. 먼저, 안전 메커니즘이 적용되지 않은 ASB 시스템 내 DC모터의 전류 제어 시스템은 그림 5에 나타나있다. 전류 센서의 고장이 발생할 경우, 지나치게 안전벨트를 당김으로써 안전벨트의 장력이 증가하고 운전자와 탑승자에게 과도한 압박으로 인한 상해를 입힐 수 있으며 이에 대한 결과는 그림 6과 같다. 추정기의 출력은 센서 고장 여부를 판단하기 위한 목적으로만 사용되고, 실제 제어에는 사용되지 않는다.

앞서 설계한 안전 메커니즘이 적용된 DC모터 전류 제어 시스

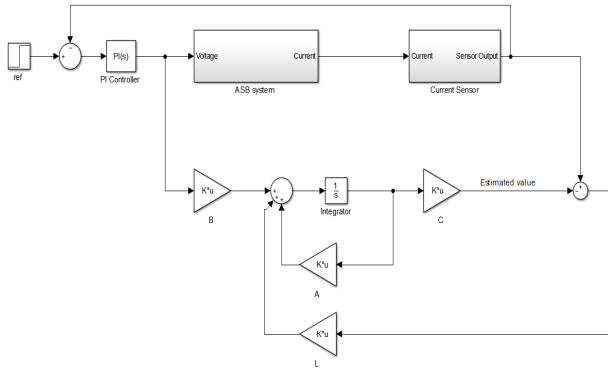


그림 5 단일 센서를 사용한 DC모터의 전류 제어 시스템  
**Fig. 5** Current control system of DC Motor with single sensor

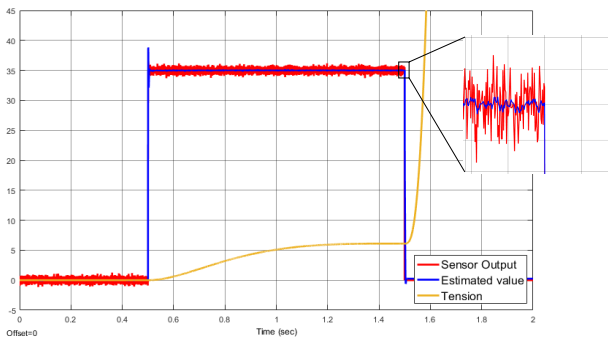


그림 6 단일 센서 사용 시 센서 고장에 대한 ASB 제어 시뮬레이션 결과  
**Fig. 6** ASB control simulation about sensor failure (single sensor used)

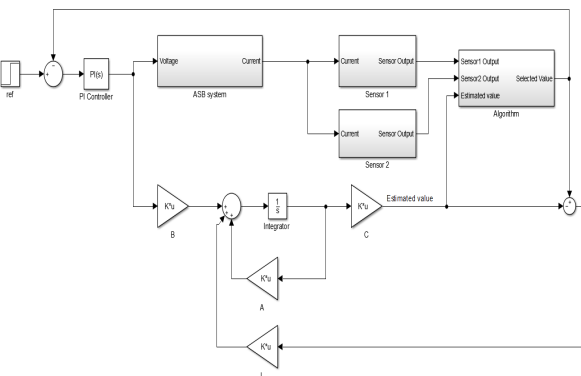


그림 7 센서 이중화를 적용한 DC모터의 전류 제어 시스템  
**Fig. 7** Current control system of DC Motor with redundant sensor

템은 그림 7과 같다. 안전 메커니즘을 적용하기 위해 DC모터의 전류 센서를 이중화 하였으며, 하나의 센서에 고장이 발생할 경

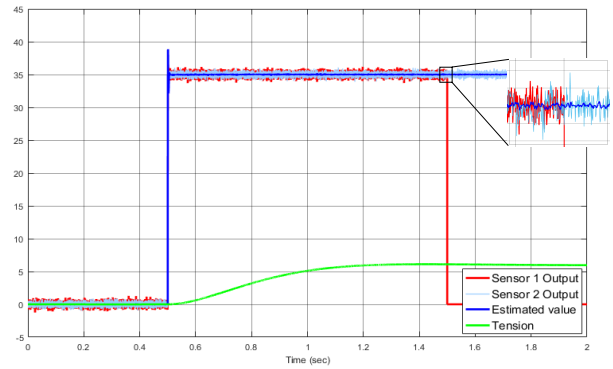


그림 8 센서 이중화가 적용된 센서 고장에 대한 ASB 제어 시뮬레이션 결과  
**Fig. 8** ASB control simulation about sensor failure (redundant sensor applied)

표 6 SPM 및 LFM 계산 결과

Table 6 Results of SPM and LFM

Diagnostic Coverage Worksheet for					
DC					
ID	Safety Goal	ASIL	SPFM Target Value	> 90%	
001	Intended DC Motor operation	B	LFM Target Value	> 60%	
Total		Single-Point		Latent	
Failure Rate (in FIT)	163.7	Total Failure Rate (in FIT)	8.875	Total Failure Rate (in FIT)	30.596
Safety Related (in FIT)	113.8				
Not Safety Related (in FIT)	49.9	Fault Metric	92.20%	Fault Metric	70.84%

우 이를 검출하기 위해 추정값과 각 센서의 출력값을 비교하여 고장이 없는 센서로 전류 제어를 수행하는 알고리즘을 적용한다. 이에 대한 결과는 그림 8과 같으며, 센서의 고장이 발생해도 안전벨트의 장력이 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

### 5.2 ASB 시스템의 SPM 및 LFM 결과값 산출

안전 메커니즘이 적용된 ASB 제어 시스템의 회로도에 대한 SPM과 LFM의 산출 결과는 표 6과 같으며, 이에 대한 산출 과정은 표 7과 표 8에 나타나 있다. 산출 결과 SPM은 92.20%, LFM은 70.84%로 ASIL B 등급을 만족하는 것을 확인할 수 있다 [13].

## 6. 결 론

본 논문에서는 차량용 기능 안전 국제표준인 ISO 26262에 부합하도록 ASB 제어 시스템 하드웨어를 설계하고 그 타당성을 검증하였다. 먼저, 개념 단계에서 대상 시스템의 HARA를 수행한 결과 ASIL B등급을 할당하였고 이를 기반으로 안전 요구사항을 분석하여 안전 메커니즘을 적용하였으며 구체적인 제어 시스템 하드웨어를 설계하였다. 설계된 제어 시스템 하드웨어의 고장 종류를 분류하고 이를 기반으로 SPM과 LFM 계산을 수행한 결과

표 7 ASB 시스템의 SPFM 계산

Table 7 SPFM for ASB system

C	F	FM	FD	V	SM	DC	$\lambda_{RF} + \lambda_{SPF}$
R1 R4	0.28	Open	40%	X	None		0.112
		Short	0%				
		Drift0.5	30%				
		Drift2.0	30%	X	None		0.084
R5 R6 R7 R8	0.28	Open	40%	X	SM1	99%	0.00112
		Short	0%	X	SM1	99%	0
		Drift0.5	30%	X	SM1	99%	0.00084
		Drift2.0	30%	X	SM1	99%	0.00084
M1 M4	25.8	Open	15%	X	None		3.87
		Short G-D	28%				
		Short G-S	28%				
		Short D-S	28%				
M2 M3	25.8	Open	15%				
		Short G-D	28%				
		Short G-S	28%				
		Short D-S	28%				
D1	3.7	Break	20%				
		Short	70%				
		Change 0.5or2	10%	X	None		0.37
D2	3.7	Break	20%				
		Short	70%				
		Change 0.5or2	10%	X	None		0.37
Other	49.9						
Total	163.7						8.8748

C: Component name, F: Failure rate, FM: Failure Mode, FD: Failure rate Distribution, V: Violates safety goals, SM: Safety Mechanism, DC: Diagnostic Coverage

표 8 ASB 시스템의 LFM 계산

Table 8 LFM for ASB system

C	F	FM	FD	V	SM	DC	$\lambda_{MPF\_Latent}$
R1 R4	0.28	Open	40%				0
		Short	0%	X	None		
		Drift0.5	30%	X	None		0.084
		Drift2.0	30%				
R5 R6 R7 R8	0.28	Open	40%	X	SM1	99%	0.0000112
		Short	0%	X	SM1	99%	0
		Drift0.5	30%	X	SM1	99%	0.0000084
		Drift2.0	30%	X	SM1	99%	0.0000084
M1 M4	25.8	Open	15%				
		Short G-D	28%	X	None		7.224
		Short G-S	28%				
		Short D-S	28%	X	None		7.224
M2 M3	25.8	Open	15%				
		Short G-D	28%				
		Short G-S	28%				
		Short D-S	28%				
D1	3.7	Break	20%	X	None		0.74
		Short	70%	X	SM1	99%	0.0259
		Change 0.5or2	10%				
D2	3.7	Break	20%	X	None		0.74
		Short	70%	X	SM1	99%	0.0259
		Change 0.5or2	10%				
Other	49.9						0
Total	163.7						30.5958

각각 92.20%(SPFM≥90%), 70.84%(LFM≥60%)로서 요구되는 ASIL B 등급이 만족되는 것을 확인하였다. 또한, 시스템 모델에 기초한 전류 추정기를 활용함으로써 제어기 신뢰성이 향상되는 것을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 BK21사업(SSEV 특화 전문 인력양성 사업단) 및 미래창조과학부와 정보통신기술진흥센터의 ICT융합 고급인력과정 지원사업(IITP- 2016-H8601-16-1005)의 연구결과로 수행되었습니다.

References

- [1] O. Gietelink, J. Ploeg, B. De Schutter and M. Verhaegen, "Development of advanced driver assistance systems with vehicle hardware-in-the-loop simulations", Veh. Syst. Dyn., Vol. 44, No. 7, pp. 569 - 590, 2006.
- [2] A. Ismail and W. Jung, "Research trends in automotive functional safety", in Quality, Reliability, Risk, Maintenance and Safety Engineering (QR2MSE), pp. 1-4, 2013.
- [3] R. Hamann, J. Sauler, S. Kriso, W. Grote and J. Moessinger, "Application of ISO 26262 in distributed development ISO 26262 in reality", SAE World Congress & Exhibition, 2009.
- [4] M. Born, J. Favaro, and O. Kath, "Application of ISO DIS 26262 in practice", The 1st Workshop on Critical Automotive Applications: Robustness and Safety, pp. 3-6, 2010.
- [5] S. H. Jeon, J. H. Cho, Y. Jung, S. Park and M. Han, "Automotive hardware development according to ISO 26262", Proceedings of Advanced Communication Technology, pp. 588-592, 2011.
- [6] S. Jie, Y. Zhang and J. Fan. "SmartAgents: A scalable infrastructure for smart car", 12th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies. pp. 99-103, 2011.
- [7] D. Caveney, "Cooperative Vehicular Safety Applications", IEEE Control Systems Magazine, Vol. 30, pp. 38-53, 2010.
- [8] H. Tobata, H. Takagi, C. Pal and S. Fukuda, "Development of pre-crash active seatbelt system for real world safety", Proceedings of International technical conference on the enhanced safety vehicles, pp. 189-195, 2003.
- [9] K. S. Lee, C. C. Choi and W. T. Lee. "A design of linear state observers for motorized seat belt system.", Transactions of the Korean Society of Automotive

Engineers, Vol. 20 No. 3, pp. 58-66, 2012.

- [10] S. Louiza, "Simulink model of a full state observer for a DC motor position, speed, and current", Proceedings of the International Conference on MSV, pp. 1-6, 2014.
- [11] ISO 26262 Road vehicles - Functional safety - Part 3: Concept phase, 2011.
- [12] ISO 26262 Road vehicles - Functional safety - Part 4: Product development: system level 2011.
- [13] ISO 26262 Road vehicles - Functional safety - Part 5: Product development: hardware level, 2011.



**안 현 식 (Hyun-Sik Ahn)**

1992년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과(공학 박사)

1993년~현재 : 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

관심분야: 지능형 로봇틱스, 차량 전자 제어

저 자 소 개



**이 준 혁 (Jun Hyok Lee)**

2015년 2월 : 국민대학교 전자공학과(학사)

2015년 3월~현재 : 국민대학교 전자공학과 석사과정

관심분야 : 차량 전자 제어, 임베디드 SW



**곽 현 철 (Hyun Chul Koag)**

2016년 8월 : 국민대학교 전자공학과(학사)

2016년 9월~현재 : 국민대학교 보안-스마트 전기자동차학과 석사과정

관심분야 : 차량 전자 제어, 임베디드 SW



**이 경 중 (Kyung-Jung Lee)**

2012년 2월 : 국민대학교 전자공학과(공학석사)

2016년 8월 : 국민대학교 전자공학과(공학박사)

관심분야 : 차량 전자 제어, 임베디드 SW