

# 강인한 고장진단과 고장허용제어에 관한 사례연구

## A case study on robust fault diagnosis and fault tolerant control

이종효\*, 유준\*\*  
(Lee Jong-hyo, Lyou Joon)

\* 국방과학연구소 (Tel: 042-821-3181; Fax: 042-821-2221; E-mail: ljonghyo@hanmail.net)  
\*\*\* 충남대학교 전자공학과 (Tel: 042-821-5669; Fax: 042-823-5436; E-mail: jlyou@cuvic.cnu.ac.kr)

**Abstract :** This paper presents a robust fault diagnosis and fault tolerant control for the actuator and sensor faults in the closed-loop systems affected by unknown inputs or disturbances. The fault diagnostic scheme is based on the residual set generation by using robust parity space approach. Residual set is evaluated through the threshold test and then fault is isolated according to the decision logic table. Once the fault diagnosis module indicates which actuator or sensor is faulty, the fault magnitude is estimated by using the disturbance-decoupled optimal state estimation and a new additive control law is added to the nominal one to override the fault effect on the system. Simulation results show that the method has definite fault diagnosis and fault tolerant control ability against actuator and sensor faults.

**Keywords :** robust, fault diagnosis, fault tolerant control, disturbance-decoupled, optimal state estimation

### 1. 서론

고장은 시스템의 성능을 저하시키거나 주요 기능을 상실하게 하여 안전성을 해치게 만든다. 고장허용제어는 시스템의 부분적인 고장이 발생하더라도 적절하게 제어를 수행하여 전체 시스템의 즉각적인 작동중단이 없이 원하는 성능에 가깝게 유지토록 함으로써 가용성을 증대시키거나, 시스템의 갑작스런 이상작동으로 인하여 고장이 다른 부분으로 파급되지 않도록 함으로써 더욱 치명적인 기능상실을 막고 안정성을 확보할 수 있게 하는 것이다. 고장허용제어의 기본개념은 고장으로 인한 시스템의 성능저하 또는 이상작동으로부터 고장의 효과를 상쇄시키기 위하여 제어법칙을 수정하거나 재 설계하는 것이다. 고장허용제어를 설계하는 데 있어서 가장 고려하여야 할 점은 고장의 발생으로 인하여 시스템의 기능이 급격하게 변할 수 있으므로 시스템을 제어할 수 있는 시간이 매우 짧다는 것이다. 따라서 고장발생으로부터 성능회복 천이시간동안의 고장허용제어 능력이 중요하며, 신속하고 정확한 고장진단, 즉 고장의 탐지와 분리대체이 선행되어야 한다. 또한 시스템에 외란이 작용할 경우에는 고장으로 인한 영향을 쉽게 구분할 수 없으므로 고장의 진단 및 추정이 어렵게 된다. 따라서 강인한 고장진단 및 고장추정기법이 필요하게 된다.

고장허용제어에 대한 여러 가지 기법<sup>1)2)</sup>들이 제안되어 왔다. 실 시스템 적용관점에서 볼 때 비행제어 시스템은 이러한 연구의 주요분야이며, 산업용 시스템에서는 그다지 많은 연구가 수행되지 못하였다. 본 연구에서는 산업용 시스템 특히 관심분야인 군사용 시스템에 대해 이러한 기법의 적용이 타당한지를 확인하고, 분포행렬을 알고 있는 미지의 외란 입력이 존재하는 시스템에 대하여 구동장치 또는 센서에서 발생할 수 있는 고장에

대한 강인한 고장진단 및 고장허용제어 기법을 제안한다. 고장진단 구조는 강인한 패리티 공간기법을 적용하였으며, 고장허용제어 구조는 구동장치 및 센서 고장에 대하여 각각의 외란분리 최적상태추정을 통하여 고장의 크기를 추정하고, 추정된 고장의 크기에 따른 보정 제어입력을 계산하여 공칭 제어입력에 추가하는 기법을 적용하였다. 이러한 기법의 적용타당성을 검증하기 위하여 군사용 시스템의 하부시스템으로 구성되는 위치제어 구동시스템에 대하여 모의실험을 수행하였다.

### 2. 공칭 추적제어

상태공간 형태로 표현되는 다음과 같은 이산시간 시스템을 고려한다.

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + Ed(k) \quad (1.1)$$

$$y(k) = Cx(k) \quad (1.2)$$

여기서  $x(k) \in R^n$ 는 상태벡터,  $y(k) \in R^r$ 는 출력벡터,  $u(k) \in R^m$ 는 입력벡터,  $d(k) \in R^e$ 는 미지입력벡터(이하 외란)이며,  $E$ 는 완전한 열 랭크를 가진 행렬로 가정한다.

추적제어를 위해 출력벡터의 일부가 기준입력벡터  $r(k)$ 을 추적하여야 하므로 출력방정식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$y(k) = Cx(k) = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} x(k) = \begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서  $y_1 \in R^p$  ( $p \leq m$ )은 기준입력벡터  $r(k)$ 을 추적하는 출력벡터이다.

이러한 추적성능을 달성하기 위해서는 다음과 같은 적분오차 벡터  $z(k)$ 가 시스템(1)에 추가되어야 한다.

$$z(k+1) = z(k) + T_r(r(k) - y_1(k)) = z(k) + T_r(r(k) - C_1x(k)) \quad (3)$$