

갠트리 크레인의 입력 보상형 분산제어

Decentralized Control with Input Compensation Form for Gantry Crane Systems

김환성*, 김명규**, 유삼상***

* 한국해양대학교 물류시스템공학과(Tel : 051-410-4334; E-mail: kimhs@hanara.kmaritime.ac.kr)

** 한국해양대학교 물류시스템공학과(Tel : 051-410-4914; E-mail: mgkim@kccips.or.kr)

*** 한국해양대학교 기계·자동화공학부(Tel : 051-410-4366; E-mail: sssyou@hanara.kmaritime.ac.kr)

Abstract : In this paper, we deals with a decentralized control scheme with input compensation form for gantry crane systems. By considering the gantry crane's characteristics, the system is decentralized into two subsystems such as the travelling and sway subsystem, and the hoisting subsystem. For decentralizing the system, a simple algorithm is proposed using observability canonical form. The decentralized subsystems include unknown input which coupled with other subsystems and actuator failures. These unknown input and actuator failures are estimated by using PI observation techniques and those estimated values are used to construct an input compensation form. Lastly, the proposed decentralized control scheme for the gantry crane systems is verified by crane simulation.

Keywords : decentralized control, input compensation, PI observer, gantry crane, fault detection

1. 서론

시스템이 점차적으로 복잡하고 대규모화됨에 따라 보다 다양성, 유연성, 신뢰성의 요구가 증대되고 있으며, 이를 위해 중앙 집중형 시스템 대신 분산적인 분산제어 시스템이 주목받고 있다 [1]-[3].

종래의 중앙 집중형 시스템은 주어진 조건에 대해서만 시스템을 설계하므로 높은 성능을 얻을 수 있으나, 환경 및 시스템 내부 변화로 인하여 시스템의 전체적인 성능이 저하되기 쉬우며, 시스템이 기동된 이후의 사양 및 운용에 대한 수정 또는 변경을 행하기 위해서는 시스템의 설계자는 기본 설계까지 검토할 필요가 있다 [1].

이에 반하여 분산 시스템에서는 서브 시스템의 제어에 의존하므로 전체적인 성능은 다소 떨어지나, 시스템의 변화 및 시스템의 사양변경 등에 유연성을 지니고 있다. 또한, 분산제어 시스템의 유연성을 증대시키기 위해서는 각 서브 시스템간에 정보의 연계성이 중요하게 다루어진다. 그러나, 이러한 정보는 때로는 많은 비용을 요구하기도 하며, 획득 불가능한 정보가 포함되기도 한다 [2]-[3].

본 연구에서는 갠트리 크레인을 대상으로 입력 보상형 분산제어를 행하고자 한다. 현재의 갠트리 크레인은 대부분 수동제어에 의해 운용되고 있으나, 고성능 제어 및 무인화가 원활히 이루어지기 위해서는 갠트리 크레인의 각 부분별로 모듈화되어 운용되어야 하며, 이를 위해서는 각 부분별로 분산제어가 행해져야 한다. 즉, 각 부분간의 정보의 연계관계에 관계없이 항상 일정제어가 이루어지도록 분산 제어기가 설계되어야 한다.

이를 위해, 본 연구에서는 갠트리 크레인을 주행, 횡행, 주권상으로 분분화하여 각 부분별 분산제어계를 구성하도록 한다. 물리적으로는 주행, 횡행, 주권상의 각 요소간에 상호 연계관계를 가지고 있으나, 이러한 연계관계를 외부요소로 취급하고 이러한 외부요소가 측정 가능한 경우 및 측정 불가능한 경우에 대해, 이들 외부요소에 대해서 제어입력을 보상할 수 있는 분산 제어계를 구성하도록 한다. 본 연구에서의 입력 보상형 분산 제어계는 PI 관측기법을 통하여 먼저 외부요소의 크기를 파악하며, 이러한 외부 요소가 입력에 미치는 영향이 보상되도록 제어계를 구성하는 방법이다.

본 논문의 주된 내용으로서 먼저, 제 2장에서는 갠트리 크레인을 두 개의 서브 시스템으로 구성하였으며, 서브 시스템 사이의 연계관계를 미지입력 요소로서 다루었다. 제 3장에서는 가관측 정준형에 의해 시스템을 분산화하는 간단한 구성방법을 제안하였다. 또한, 외부입력 요소로서 구동기 고장요소를 포함한 시스템간의 연계정보를 PI 관측기법을 도입하여 추정하였으며, 이를 이용하여 입력

보상형 제어계를 구성하였다. 입력 보상형 제어계는 직접 입력 보상형과 상태 편차를 이용한 입력 보상형으로 구분하여 설계하였다. 제 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 본 입력 보상형 분산제어법의 유효성을 확인하였다.

2. 갠트리 크레인의 분산 시스템 구성

갠트리 크레인 동작은 주행, 횡행, 주권상으로 분류되며 주로 횡행과 주권상운동이 지배적이다. 먼저, Lagrange 운동방정식을 이용하여 갠트리 크레인의 운동방정식을 나타내면 다음과 같다 [4].

$$(M_1 + M_T + M_L)\ddot{r} + M_L \dot{l} \sin \phi - M_L l \dot{\phi}^2 \sin \phi + 2M_L \dot{l} \dot{\phi} + M_L l \ddot{\phi} \cos \phi = F_1 \quad (1a)$$

$$\frac{1}{2} M_L \ddot{r} \sin \phi + 2(M_2 + 0.25M_L)\dot{l} - \frac{1}{2} M_L l \dot{\phi}^2 - \frac{1}{2} M_L g \cos \phi = F_2 \quad (1b)$$

$$l\ddot{\phi} + 2\dot{l}\dot{\phi} + g \sin \phi + \dot{r} \cos \phi = 0 \quad (1c)$$

여기서 M_L 은 컨테이너 질량, M_T 은 트롤리 질량, M_1 은 트롤리 모터 및 기어의 등가질량, M_2 는 주권상 모터 및 기어의 등가질량, ϕ 는 컨테이너의 흔들림각, l 은 로프 길이, r 은 트롤리의 수평이동 거리, g 는 중력가속도를 각각 나타낸다.

윗 식에서 컨테이너 흔들림 각도가 작다고 가정한다면, $\cos \phi \approx 1$, $\sin \phi \approx \phi$ 로 근사화 할 수 있으며, 또한 $\dot{\phi}^2 \approx \dot{\phi}^2 \approx 0$ 으로 간주 할 수 있다. 따라서 윗 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(M_1 + M_T + M_L)\ddot{r} + M_L \dot{l} \dot{\phi} + M_L (l\ddot{\phi} + 2\dot{l}\dot{\phi}) = F_1 \quad (2a)$$

$$\frac{1}{2} M_L \phi \ddot{r} + 2(M_2 + 0.25M_L)\dot{l} - \frac{1}{2} M_L g = F_2 \quad (2b)$$

$$l\ddot{\phi} + 2\dot{l}\dot{\phi} + gl + \dot{r} = 0 \quad (2c)$$

컨테이너 이동시 횡행과 흔들림각 사이에는 밀접한 관계가 있으며, 주권상 동작과 흔들림사이에는 약간의 간섭만이 존재함을 알 수 있다 [4]-[5]. 따라서 위의 컨테이너 모델은 크게 횡행동작과 흔들림 각으로 구성된 서브 시스템과 주권상만으로 구성된 서브시스템으로 분산화 할 수 있다.

먼저, 횡행과 흔들림각으로 구성된 서브 시스템은 다음과 같다.

$$\Sigma_1: \begin{cases} (M_1 + M_T + M_L)\ddot{r} + M_L \dot{l} \dot{\phi} = F_1 + v_{11} \\ l\ddot{\phi} + \dot{r} = -g\phi + v_{12} \end{cases} \quad (3)$$