

실수코딩유전알고리즘을 이용한 하역생산성 향상용 컨테이너 크레인의 안정화 제어기 설계

이수룡* · 안종갑** · 최재준** · 손정기** · 이윤형*** · † 소명옥****

*동명대학교 조선공학과 교수, **한국항만연수원 부산연수원 교수,
한국해양대학교 대학원, *한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수

Stabilization Controller Design of a Container Crane for High Productivity in Cargo Handling Using a RCGA

Soo-Young Lee* · Jong-Kap Ahn** · Jae-Jun Choi** · Jeong-Ki Son**

Yun-Hyung Lee*** · † Myung-Ok So****

*Division of Naval Architecture, Tong Myong University, Busan 608-711, Korea

**Korea Port Training Institute, Busan 608-080, Korea

***Graduate school of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

****Division of Mechatronics, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요약 : 컨테이너 화물의 복합운송시스템 중에서 체화현상은 항만에서 가장 심각하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 해상과 육상의 경계선에서 체선체화 문제를 발생시키는 컨테이너 크레인의 작업효율을 향상시키는 방법을 생각할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 가능한 범위에서 트롤리를 목표지점까지 빠르게 이동시키는 동시에 목표위치에서의 흔들림도 짧은 시간 내에 제어하는 문제를 다루고 있다. 제어 전략으로 설계된 구간에서 최적의 성능과 장인성이 보장되는 LQ 제어와 제약조건에서 최적화가 가능한 실수코딩 유전알고리즘을 결합한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안한 제어기가 설정한 설계사양을 완벽하게 만족하는 것을 보임으로 그 유효성을 증명한다.

핵심용어 : 컨테이너 크레인, LQ 제어기, 제약조건, 실수코딩 유전알고리즘

Abstract : To increase the stevedore efficiency and service level at container terminal, it is essential to reduce working time of container crane which has a bottle neck in the logistic flow of container. The working speed and safety are required to be improved by controlling the movement of the trolley as quick as possible without big overshoot and any residual swing motion of container in the vicinity of target position. This paper presents optimal state feedback control using RCGAs in the case of existing constrained conditions

Key words : Container crane, LQ controller, Constrained condition, Real-coded genetic algorithm(RCGA)

1. 서 론

컨테이너 크레인의 하역효율을 높이는 방법으로 호이스트와 트롤리의 이동속도를 높이는 것과 트롤리가 목표지점에 도달했을 때 스프레더와 컨테이너의 흔들림을 가능한 한 짧은 시간 내에 제어하는 것(신 외, 2000; 이, 2000)을 생각할 수 있다. 본 연구에서는 후자(後者)의 방법과 더불어 가능한 범위에서 트롤리가 목표지점에 빠르게 이동하게 함으로써 하역효율을 높이는 방법을 다루고 있다.

컨테이너 크레인의 위치 및 흔들림 제어에서 중요한 점은

화물을 짧은 시간 내에 위치 오버슈트(Overshoot)가 없도록 목표위치에 이동시키면서 트롤리가 목표위치에 도달했을 때 화물의 흔들림을 단시간에 제어하는 것이다. 이를 통해 사이클 시간을 단축시키고, 동시에 트롤리의 불필요한 전·후진을 제거해 운전자의 피로도를 경감시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 설계사양에 해당하는 제약조건이 존재하는 경우에 있어서, 이 조건을 만족하도록 하는 상태피드백 제어기를 설계하는 일련의 방법을 제안한다. 제약조건이 존재하는 경우의 상태 피드백 이득행렬의 최적화는 실수코딩 유전알고리즘을 사용하여 해결한다. 시뮬레이션을 통해 제안

* 정회원, lsyoung@tu.ac.kr 051)620-3404

** 정회원, jjongabi@naver.com 051)621-0550

** 정회원, fall0030@empal.com 051)621-0550

** 정회원, flogging@hanmail.net 051)621-0550

*** 학생회원, domse54@daum.net 051)410-4877

† 교신저자 : 소명옥(정회원), smo@hhu.ac.kr 051)410-4248

하는 제어기의 유효성을 검증한다.

2. 컨테이너 크레인의 수학적 모델

2.1 트롤리와 컨테이너

먼저 컨테이너의 중심좌표 $G(z_0, y_0)$ 를 다음과 같이 정의하고

$$z_0 = z - l \sin \theta, \quad y_0 = -l \cos \theta \quad (1)$$

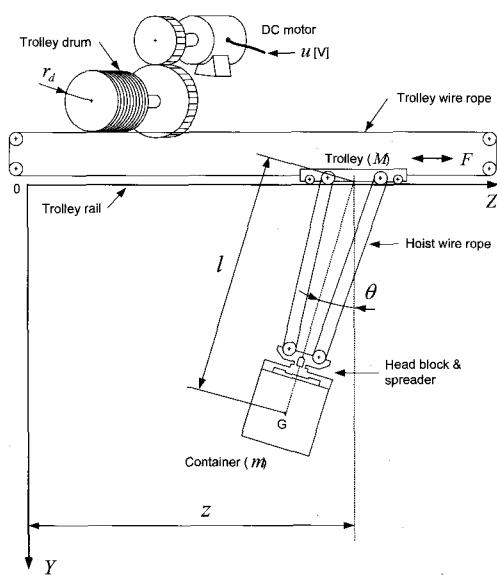


Fig. 1 Coordinate system of a container crane

트롤리가 수평방향으로 운동할 때 트롤리와 컨테이너에 대한 운동방정식을 구하면 다음과 같은 비선형 미분방정식을 얻을 수 있다(최, 2002).

$$\ddot{\theta} = \frac{(M+m)mlg \sin \theta - ml \cos \theta (F - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta - c_1 \dot{z})}{m^2 l^2 \cos^2 \theta - ml^2 (M+m)} \quad (2)$$

$$-\frac{(M+m)c_2 \dot{\theta}}{m^2 l^2 \cos^2 \theta - ml^2 (M+m)}$$

$$\ddot{z} = \frac{-lF + mlg \sin \theta \cos \theta + ml^2 \dot{\theta}^2 \sin \theta + lc_1 \dot{z} - c_2 \dot{\theta} \cos \theta}{ml \cos^2 \theta - l(M+m)} \quad (3)$$

2.2 구동부

Fig. 1에 보이는 트롤리용 모터에 전압을 가하면 모터에 회전력이 발생되고, 이 회전력이 기어박스를 거쳐 와이어 드럼을 회전시킴으로써 트롤리에 힘 F 가 작용하게 된다.

트롤리용 와이어 드럼에 미치는 힘 F 에 대한 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있으며, 이 때 모터의 인덕턴스 값은 미소하므로 무시한다. K_m 은 모터토크상수, K_g 는 기어비율이다.

$$u = \frac{R_a r_d}{K_g K_m} F + \frac{K_g K_m}{r_d} \dot{z} \quad (4)$$

2.3 구동부를 포함한 전체운동방정식

조작부인 구동 모터 및 감속 기어박스도 제어대상에 포함시켜 모델링하기 위해서 식 (4)를 F 로 표현하여 식 (2)와 식 (3)에 대입해서 z 와 θ 에 관한 비선형 2계 미분방정식으로 정리하면 식 (5)와 (6)을 얻을 수 있다.

$$\ddot{z} = \frac{-l}{ml \cos^2 \theta - l(M+m)} \left(\frac{K_g K_m}{R_a r_d} u - \frac{K_g^2 K_m^2}{R_a r_d^2} \dot{z} \right) \quad (5)$$

$$+ \frac{mlg \sin \theta \cos \theta + ml^2 \dot{\theta}^2 \sin \theta + c_1 l \dot{z} - c_2 \dot{\theta} \cos \theta}{ml \cos^2 \theta - l(M+m)} \quad (6)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{(M+m)mlg \sin \theta}{m^2 l^2 \cos^2 \theta - ml^2 (M+m)} \quad (6)$$

$$- \frac{ml \cos \theta \left\{ \left(\frac{K_g K_m}{R_a r_d} u - \frac{K_g^2 K_m^2}{R_a r_d^2} \dot{z} \right) - ml \dot{\theta}^2 \sin \theta - c_1 \dot{z} \right\}}{m^2 l^2 \cos^2 \theta - ml^2 (M+m)}$$

$$- \frac{(M+m)c_2 \dot{\theta}}{m^2 l^2 \cos^2 \theta - ml^2 (M+m)}$$

2.4 컨테이너 크레인의 상태공간 해석

컨테이너 크레인의 비선형 모델에서 θ 의 변화가 미소하다고 가정하여 $\theta \approx 0$ 근방에서 선형화하고, 트롤리의 이동속도에 비례하는 마찰력 $c_1 \dot{z}$ 와 호이스트용 와이어로프가 흔들림으로 발생되는 마찰력 $c_2 \dot{\theta}$ 는 미소하므로 무시한다.

식 (5)와 (6)을 선형화하여 표현하면 식 (7)과 (8)을 얻을 수 있다.

$$\ddot{z} = - \frac{K_g^2 K_m^2}{M R_a r_d^2} \dot{z} - \frac{mg}{M} \theta + \frac{K_g K_m}{M R_a r_d} u \quad (7)$$

$$\ddot{\theta} = - \frac{K_g^2 K_m^2}{M R_a r_d^2} \dot{z} - \frac{(M+m)g}{M} \theta + \frac{K_g K_m}{M R_a r_d} u \quad (8)$$

상기 식에서 $x_1 = z$, $x_2 = \dot{z}$, $x_3 = \theta$, $x_4 = \dot{\theta}$ 로 상태변수를 정의하고, 상태방정식으로 간단히 표현하면 다음과 같다.

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (9)$$

$$y = Cx$$

$$\text{단, } A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{K_g^2 K_m^2}{M R_a r_d^2} & -\frac{mg}{M} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{K_g^2 K_m^2}{M R_a r_d^2} & -\frac{(M+m)g}{M} & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_g K_m}{M R_a r_d} \\ 0 \\ \frac{K_g K_m}{M R_a r_d} \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0], \quad x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T$$

제어기 설계를 위한 컨테이너 크레인 시스템의 파라미터 값들은 다음의 Table 1과 같다.

Table 1 Parameters of container crane system

Parameters	Value	Unit
K_g	3.7	
K_m	0.00767	[V/rad/s]
m	0.21	[kg]
M	0.455	[kg]
R_a	2.6	[Ω]
r_d	0.00635	[m]
g	9.8	[m/s ²]
l	1.2	[m]

3. 실수코딩 유전알고리즘

유전알고리즘(Genetic Algorithm:GA)은 1975년 J. H. Holland(Holland, 1975)교수에 의해 처음 소개된 이후, Goldberg가 광범위하게 전파했으며, De Jong이 잠재적인 여러 탐색방향, GA의 성능에 영향을 미치는 동정 인자들의 영향력을 요약하였다.

GA가 기존의 탐색법과 다른 점은 파라미터 자체를 사용하기보다는 이를 기호로 표현한다는 것과, 하나의 해를 다루기보다는 해 집단을 취급한다는 점이다. 그리고 연산자들이 확률에 기초하여 동작되므로, 얻어지는 결과는 결정적이기보다는 확률적이라는 특징도 가진다.

다양한 최적화 문제를 해결하기 위하여 여러 종류의 유전알고리즘이 발표되었으나, 초기 해 집단의 생성, 집단내 개체들의 적합도 평가, 기본 연산자의 사용과 같은 기본적인 메커니즘은 서로 유사하다.(진, 2004)

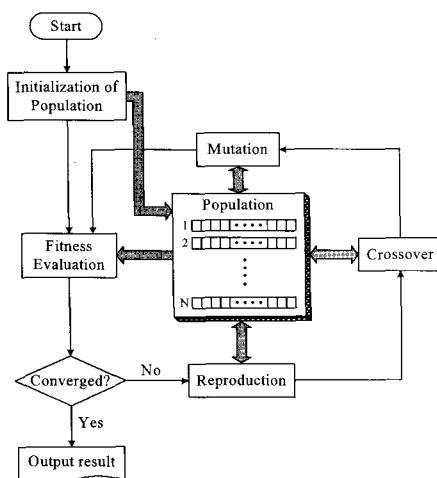


Fig. 2 Basic structure of a RCGA

유전알고리즘의 탐색 과정은 Fig. 2에서 보는 것과 같이 크게 집단의 초기화, 적합도 평가, 재생산, 교배, 돌연변이의 5단계로 구분된다.

3.1 파라미터의 표현

파라미터를 이진 형태(Binary type)로 취하고, 이진 염색체를 다루는 유전알고리즘을 이진코딩 유전알고리즘(Binary-coded genetic algorithm : BCGA)이라 한다. 이렇게 함으로써 변환된 비트들은 자연계의 유전자(Gene)로서의 역할을 반영하게 되고, 변환된 결과를 스트링(String) 또는 염색체(Chromosome)라고 부른다. Fig. 3은 이진코딩 염색체의 한 예를 보여주고 있다.

$$x = [10 \ 5 \ 2]^T \Rightarrow s = (1010|0101|0010)$$

Fig. 3 A Binary-Coded Chromosome

BCGA는 정밀도를 높이거나 해에 대한 사전지식의 결여로 탐색구간을 확대하면, 염색체 길이가 길어져 매우 큰 탐색공간을 만들어 해를 찾는데 많은 시간을 요구하거나, 경우에 따라서는 탐색에 실패하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 변수(표현형)와 유전자(유전자형)간에 일대일 대응으로 프로그래밍이 간편하고, BCGA에서 요구되는 부호화, 복호화 프로세스가 필요 없게 되어 탐색속도를 높일 수 있는 실수코딩 유전알고리즘(Real-coded genetic algorithm : RCGA)을 사용하기로 한다.

Fig. 4는 실수코딩 염색체의 한 예를 보여주고 있다.

$$x = [10 \ 5 \ 2]^T \Rightarrow s = (10 \ 5 \ 2)$$

Fig. 4 A Real-Coded Chromosome

3.2 초기 집단의 생성

탐색 공간상의 점들을 표현하는 방법이 결정되면 주어진 문제의 해가 될 가능성이 있는 개체들이 유전 연산자를 통해 모의진화가 수행될 초기 개체집단이 형성되는 초기화 단계가 행해진다.

k 세대에서의 집단 $P(k)$ 는 염색체로 특정 지위지는 다수 개체들의 집합으로 식 (10)과 같이 정의된다.

$$P(k) = \{s_1(k), s_2(k), \dots, s_i(k), \dots, s_N(k)\} \quad (10)$$

여기서 $s_i(k)$ 는 i 번째의 염색체로서 탐색 공간상의 한 점을 나타내며, $N(> 1)$ 은 집단크기(Population Size)를 의미한다.

3.3 기본 유전 연산자(Genetic Operator)

본 연구에서 다루는 RCGA는 재생산, 교배, 돌연변이 연산자를 기본 연산자로 채용하고 있다.

1) 재생산(Reproduction)

재생산은 자연환경에 더 적합한 생물이 더 높은 생존 기회를 갖는 자연도태(Natural Selection)현상을 모방하려는 인위적인 메카니즘이다. 본 연구에서는 구배와 유사한 재생산(Gradient-Like Reproduction)(Jin, 1996)을 사용하였다.

2) 교배(Crossover)

교배는 자연계 생물들의 유성생식(Sexual Mating)을 모방하려는 인위적인 메카니즘으로서 탐색 공간상의 가능한 새로운 점을 찾기 위하여 교배급원으로부터 부모 염색체 쌍을 임의로 선택하고, 교배점 이후의 비트들을 서로 교환 결합함으로써 자손을 생성한다. 본 연구에서는 Fig. 5와 같은 수정단순교배(Modified Simple Crossover)를 사용하였다.

$$\begin{aligned} S_1 &= (c_1^1 \ c_2^1 \ \cdots \ c_{n-1}^1 \ c_n^1 \ c_{n+1}^1 \ \cdots \ c_l^1) \\ &\rightarrow S'_1 = (c_1^1 \ c_2^1 \ \cdots \ c_{n-1}^1 \ d_n^1 \ c_{n+1}^2 \ \cdots \ c_l^2) \\ S_2 &= (c_1^2 \ c_2^2 \ \cdots \ c_{n-1}^2 \ c_n^2 \ c_{n+1}^2 \ \cdots \ c_l^2) \\ &\rightarrow S'_2 = (c_1^2 \ c_2^2 \ \cdots \ c_{n-1}^2 \ d_n^2 \ c_{n+1}^1 \ \cdots \ c_l^1) \\ \text{단, } d_n^1 &= \lambda c_n^1 + (1-\lambda)c_n^2, \quad d_n^2 = \lambda c_n^2 + (1-\lambda)c_n^1 \end{aligned}$$

Fig. 5 Modified Simple Crossover

3) 돌연변이(Mutation)

모의진화가 계속되는 동안 재생산과 교배 연산자는 집단을 더욱 강하게 해주고 이로 인하여 염색체들은 서로 닮아가게 된다. 이러한 현상이 세대 초기에 발생하게 되면 유전자의 다양성 결핍으로 지역해(Local Solution)나 사점(Dead Corner)에 빠지게 되는 요인이 된다. 이러한 원치 않는 해로부터 벗어나기 위한 메카니즘이 돌연변이이다. 본 연구에서는 동적돌연변이(Dynamic Mutation)(Michalewicz, 1996)를 사용하였다. j 번째 유전자에서 돌연변이가 일어나면 x_j 는 식 (11)로부터 결정된다.

$$x_j = \begin{cases} \tilde{x}_j + \Delta(k, x_j^{(U)} - \tilde{x}_j), & \tau = 0 \\ \tilde{x}_j - \Delta(k, x_j^{(L)} - \tilde{x}_j), & \tau = 1 \end{cases} \quad (11)$$

단, $\Delta(k, y) = y \cdot r \cdot (1 - \frac{k}{T})^b$

3.4 적합도 평가

자연계에서 생물들은 끊임없이 환경에 적응해 가는데 이 적응능력이 유전알고리즘에서는 개체의 적합도를 평가하는 과정

을 통해 반영된다. 본 연구에서는 최소화 문제로 기술되는 목적함수는 다음과 같이 사상하여 최대화 문제 형태로 표현한다.

$$f(s) = -F(x) - F_{\min} \quad (12)$$

여기서 $f(s)$ 는 적합도 함수, $F(x)$ 는 목적함수, F_{\min} 은 $f(s) \geq 0$ 을 보장하는 상수이다.

또한, 초기 세대에서는 우량 개체의 적합도 영향을 줄일 수 있도록 개체들의 적합도 값을 넓은 범위의 값 위로 분포시키고, 후기 세대에는 더 적합한 개체들이 더 많이 선택될 수 있도록 분포시키는 선형 스케일링(Linear Scaling)(Grefenstette, 1986)을 사용한다.

3.5 엘리티즘(Elitism)

엘리티즘은 이전 세대의 최적 개체를 저장하고 있다가 재생산-교배-돌연변이 연산을 거쳐 현 세대의 집단이 완성되면 최적 개체의 생존 유무를 확인하고, 만일 최적 개체가 소멸되었으면 저장된 개체를 현 세대 집단 안에서 적합도가 가장 낮은 개체와 교환해줌으로서 세대마다 최적 개체를 보존해 주는 역할을 한다.

4. RCGA를 이용한 상태피드백 제어

4.1 제약조건의 취급

복잡한 최적화 문제에 유전알고리즘을 적용할 때 고려되어야 할 사항 중 하나는 제약조건을 어떻게 다룰 것인가 하는 것이다. 왜냐하면 주어진 문제에는 제약조건이 수반될 수 있고, 또한 유전 연산자들이 염색체를 다루면서 부적합한 해를 생산할 수 있기 때문이다.

제약조건을 다루는 방법에는 크게 거부전략, 복구전략, 유전연산자와의 보완 전략, 벌점전략으로 분류된다. 여기서는 본 연구에서 사용할 벌점전략 중 고정 벌점전략에 대해서 간단히 살펴보도록 한다.

흔히 제약조건을 가지는 최적화 문제들의 해공간은 적합한 영역과 부적합한 영역으로 구성되기 때문에 만약 알고리즘이 부적합한 영역을 탐색하게 될 때 벌점을 부과하고 이 벌점을 평가함수 계산에 반영하면 제약조건이 따르는 최적화 문제를 제약조건이 없는 문제로 변환할 수 있다.

대부분의 경우 시스템은 다음과 같은 몇 가지 고려되어야 할 요소들을 가진다.

- (1) 계단함수 입력에서 정의되는 최대오버슈트(M_p)
- (2) 지연시간(t_d)
- (3) 상승시간(t_u)
- (4) 정정시간(t_s)
- (5) 제한된 입력(u)

이외에도 시스템 설계시 요구되는 사항들을 추가하여 고려되어야 할 요소로 선정할 수가 있다.

이러한 제약조건을 고려함으로써 제어기 설계문제는 복잡한 제약성 최적화 문제로 귀착되는데, 그 최적 해를 구하기 위해 RCGA를 이용한다.

집단내의 잠정적인 해들이 제약조건을 위반(부적합한 영역을 탐색)할 때를 처리하기 위해 벌점전략을 채용하고, 그 위반 정도에 따라 벌점을 추가하도록 벌점함수 $P(\psi)$ 를 정의하였다.

$$F(\psi) = J(\psi) + P(\psi) \quad (13)$$

$$\text{단, } P(\psi) = \begin{cases} 0 & , \psi \text{가 적합한 해일 경우} \\ \sum_{j=1}^J w_j \beta_j^2, & \psi \text{가 부적합한 해일 경우} \end{cases}$$

여기서 w_j 는 각 제약조건에 대응되는 벌점상수로서 설계자에 의해 적절하게 선정되는 변수이며 $J(\psi)$ 는 ψ 에 종속되는 목표함수 값이다. 이렇게 함으로써 제약성 최적화 문제는 시스템의 방정식을 만족하면서 $F(\psi)$ 를 최소로 하는 비제약성 최적화 문제로 변환된다.

4.2 제약조건이 존재하는 경우의 상태피드백 제어

기존의 연구(최, 2002)에서는 시행착오에 의해 선정한 Q 와 R 을 바탕으로 피드백 이득행렬 K 를 구하고 있다. 그러나 본 연구에서는 다음의 제약조건이 추가된 경우를 고려하기로 한다.

- (1) 트롤리의 이동시 오버슈트가 발생하지 않아야 한다.
- (2) 최단시간 내에 목적지까지 트롤리의 이동을 통한 컨테이너의 이송이 가능해야 한다.
- (3) 돌발적인 외란에 대해서도 컨테이너의 진동을 억제하여 원하는 목적지에 정상편차 없이 도달하여야 한다.

위의 요소를 기본적으로 만족시키기 위하여 본 연구에서는 시스템의 계단 응답에 대한 최대오버슈트(M_p), 상승시간(t_r), 정정시간(t_s)에 대해 고려한다. 또한 각 제약조건에 대응되는 벌점상수는 w_1 (M_p 에 대한): 1×10^{30} , w_2 (t_r 에 대한): 1×10^{20} , w_3 (t_s 에 대한): 1×10^{20} 과 같이 설정하였다.

그리고 K 에 종속되는 목적함수 $J(K)$ 는 다음과 같다.

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} (x^T Q x + R u^2) dt \quad (14)$$

여기서, t_f 는 적분최종시간으로 충분히 큰 시간이다.

먼저 설계사양은

$$g_1(K) = -M_p(K) \geq 0$$

$$g_2(K) = 1.6 - t_r(K) \geq 0$$

$$g_3(K) = 4.0 - t_s(K) \geq 0$$

과 같이 선정한다. 또한, 위반 정도에 따라 벌점을 추가하도록 벌점함수 $P(K)$ 가 추가된 새로운 평가함수 $F(K)$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$F(K) = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} (10x_1^2 + 3.5x_2^2 + 40x_3^2 + 2x_4^2 + 0.05u^2) dt + w_1 g_1^2 + w_2 g_2^2 + w_3 g_3^2 \quad (15)$$

5. 시뮬레이션 및 고찰

제어기의 성능을 확인하기에 앞서 4.2절에서 제안한 제약조건이 존재하는 경우에 있어서 RCGA의 상태 피드백 이득행렬 탐색 결과를 살펴본다. 다음으로 기존의 Riccati방정식에 의해 구해진 LQ 제어기와 본 연구에서 제안한 제약조건이 추가된 경우의 상태 피드백 제어기의 성능을 고찰한다. 여기에서 트롤리의 이동속도에 비례한 마찰력 c_1 과 호이스트용 와이어로프의 흔들림으로 발생되는 계수 c_2 는 산업체 플랜트의 설계 관례에 따라 각각 0.01과 0.005로 정하였고, 나머지 파라미터 값은 Table 1과 같다.

제안된 제어기에 대해 첫 번째는 계단상의 기준입력 변화에 대한 응답의 추종성능을 살펴보고, 두 번째는 돌풍과 같은 외란에 대한 응답특성을 검토한다.

5.1 상태 피드백 이득행렬의 탐색

상태 피드백이득행렬 K 를 탐색하기 위한 RCGA의 제어 파라미터로는 집단의 크기 $N=80$, 재생산계수 $\eta=1.8$, 교배확률 $P_c=0.95$, 돌연변이 확률 $P_m=0.2$ 가 사용되었다.

Fig. 6은 유전알고리즘이 K 을 탐색하는 과정을 그린 것이다. 탐색된 피드백이득행렬은 다음과 같다.

$$K = [\quad 47.752103 \quad 36.617141 \quad 55.473768 \quad -25.753756 \quad]$$

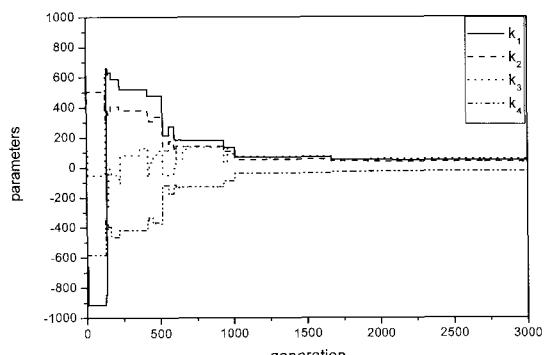


Fig. 6 Parameter Adaptation Using the Genetic Algorithm

5.2 기준입력 변화에 따른 검토

계단입력 3[m]에 대한 응답은 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 제어성능은 Riccati방정식에 근거한 LQ 제어기는 $m_p = 0.87$, $t_r = 1.69$, $t_s = 4.15$, $e_{ss} = 0.00$ 이며, 제약조건이 추가된 제어기는 각각 $m_p = 0.00$, $t_r = 1.60$, $t_s = 3.47$, $e_{ss} = 0.00$ 이다.

이는 RCGA에 의해 구해진 제어기가 정상상태오차 없이 제약조건, 즉 설계사양을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다.

물론 시행착오에 의한 피드백 이득행렬의 설정이 지금보다 더 많은 시간을 통해 시행착오를 거친다면 설계사양에 맞는 피드백이득행렬을 구할 수는 있다. 하지만 많은 시간과 노력이 희생되어야 하는 상황에서 좀 더 체계적 방법인 제약조건이 추가된 RCGA가 피드백 이득행렬을 선정함에 있어서 훨씬 빠른 시간과 적은 노력을 요구함으로서 효율적인 제어기 설계라 할 수 있겠다.

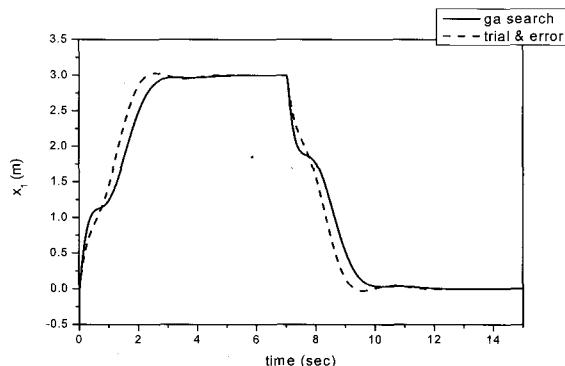


Fig. 7 Trolley Position (Step input)

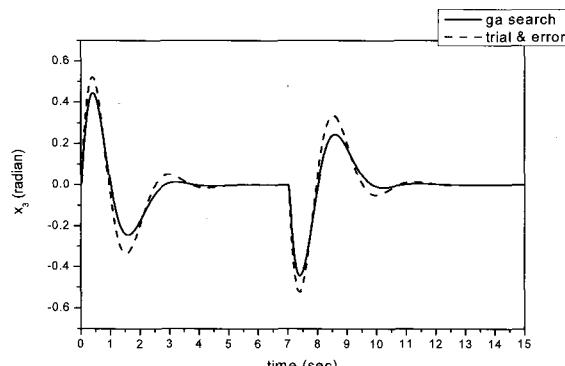


Fig. 8 Container Swing Angle (Step input)

5.3 외란에 대한 검토

정상상태를 유지하고 있는 가운데 11[s]경에 돌풍과 같은 임의의 외란으로 인해 컨테이너 화물이 급격히 흔들린다고 간주하여 다소 큰 +0.5[rad] 크기의 흔들림을 외란으로 가하여 보았다. Fig. 9와 Fig. 10에서 확인할 수 있듯이 RCGA에 의해 설계된 제어기가 위치와 각도에 있어서 훨씬 빠른 안정화를 이루고 있음을 알 수 있다.

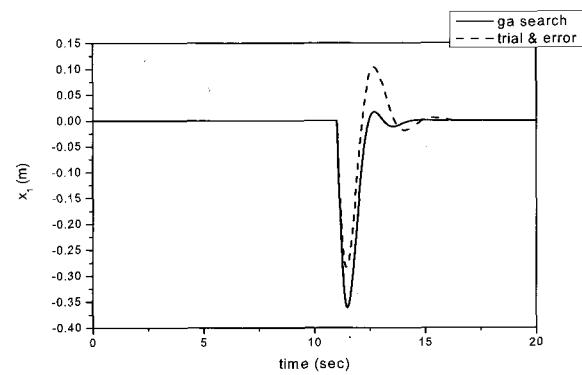


Fig. 9 Trolley Position (Disturbance)

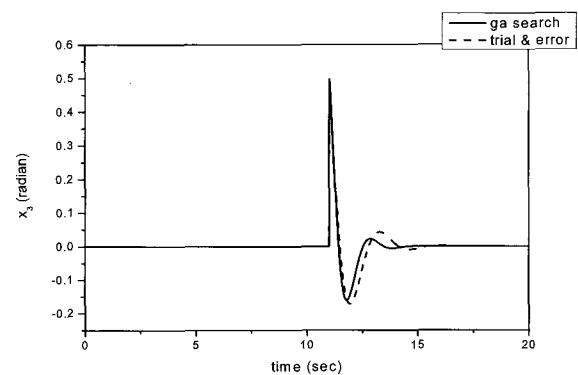


Fig. 10 Container Swing Angle (Disturbance)

6. 결 론

기존의 LQ 제어기 설계에 있어서는 적절한 상태 피드백 이득행렬을 선정하기 위해서 많은 시간과 시행착오가 필요하였다.

본 연구에서는 설계사양으로 주어지는 제약조건이 존재하는 경우에 이러한 제약조건을 모두 만족하면서 최적의 상태 피드백 이득행렬을 RCGA로 탐색하는 일련의 방법을 제안하였다. 이를 위해 벌점전략을 RCGA에 결합하여 사용하였으며, 탐색된 제어기 이득행렬로 시뮬레이션을 실시한 결과, 주어진 제약 조건을 완벽하게 만족하는 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2007년 동명대학교 항만물류사업단의 지원을 받아 연구되었음에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 신선근, 최재준, 소명옥(2000), “하역효율 향상을 위한 컨테이너 크레인의 제어기 설계”, 한국박용기관학회지, 제24권 제4호, pp. 110-116.

- [2] 진강규(2004), "유전알고리즘과 그 응용", 교우사.
- [3] 이병찬(2000), "컨테이너 크레인의 제어기 설계", 한국해양대학교, 석사논문.
- [4] 최재준(2002), "퍼지-LQ 기법을 이용한 컨테이너 크레인의 강인한 제어기 설계", 한국해양대학교 기관공학과 박사학위 논문
- [5] Grefenstette, J. J. (1986) "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Vol. SMC-16, No. 1, pp. 122-128.
- [6] Holland, J. H. (1975), "Adaptation in Natural and Artificial Systems", The University of Michigan Press, Michigan.
- [7] Jin, G. (1996) "Intelligent Fuzzy Logic Control of Processes with Time Delays," Ph.D. Thesis, University of Wales, Cardiff, UK.
- [8] Michalewicz, Z. (1996) "Genetic Algorithms+Data Structures =Evolution Programs," Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

원고접수일 : 2007년 4월 6일

원고채택일 : 2007년 8월 16일