

프레스 공정에서 6자유도 로봇의 작업 시퀀스 최적화

윤현중¹, 정성엽^{2*}

¹대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

²국립한국교통대학교 기계공학과

Task Sequence Optimization for 6-DOF Manipulator in Press Forming Process

Hyun Joong Yoon¹, Seong Youb Chung^{2*}

¹Faculty of Mechanical and Automotive Engineering, Catholic University of Daegu

²Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation

요약 본 연구팀은 프레스 공정의 협소공간에서 작업이 가능한 6자유도 로봇을 개발하고 있으며, 본 논문은 개발된 로봇의 작업 시간을 최소화하기 위한 작업 시퀀스 최적화 방법을 제안하였다. 우선 6 자유도 로봇의 기구학을 모델링하고 작업 시간 예측 방법을 기술하였다. 그리고 작업 시퀀스 최적화를 위하여 수학적 모델을 제시하고, 이를 바탕으로 개미 집단 시스템(ant colony system), 시물레이트 어니얼링(simulated annealing), 유전자 알고리즘(genetic algorithm)의 세 가지 최적화 방법을 적용하고 결과를 비교 분석하였다. 시물레이션 결과 유전자 알고리즘이 가장 좋은 결과를 보임을 확인할 수 있었으며, 계산 속도 측면에서도 가장 빨리 최적값에 수렴하였다. 또한, 개미집단시스템과 시물레이티드 어니얼링의 경우 여러 파라미터 값들의 설정에 따라 수렴된 최적값의 편차가 비교적 큰 것에 비하여, 유전자 알고리즘은 파라미터 값에 상관없이 안정적으로 근사 최적값을 찾을 수 있었다. 마지막으로, 로봇의 작업시퀀스 최적화 방법을 시각적으로 검증하기 위하여 Mathworks 사의 Matlab과 Coppelia Robotics 사의 V-REP (virtual robot experimentation platform)를 사용한 시물레이션을 수행하였다.

Abstract Our research team is developing a 6-DOF manipulator that is adequate for the narrow workspace of press forming processes. This paper addresses the task sequence optimization methods for the manipulator to minimize the task-finishing time. First, a kinematic model of the manipulator is presented, and the anticipated times for moving among the task locations are computed. Then, a mathematical model of the task sequence optimization problem is presented, followed by a comparison of three meta-heuristic methods to solve the optimization problem: an ant colony system, simulated annealing, and a genetic algorithm. The simulation shows that the genetic algorithm is robust to the parameter settings and has the best performance in both minimizing the task-finishing time and the computing time compared to the other methods. Finally, the algorithms were implemented and validated through a simulation using Mathworks' Matlab and Coppelia Robotics' V-REP (virtual robot experimentation platform).

Keywords : Press Forming Process, Task Sequence Optimization, 6-DOF Manipulator, Ant Colony System, Simulated Annealing, Genetic Algorithm

1. 서론

본 논문은 프레스 공정의 협소 공간에서 다자유도 로

봇의 최적 작업 시퀀스를 생성하는 방법에 대해 다루고 있다. 주된 대상은 LCD TV의 버텀 채시(bottom chassis) 제조 공정 중에서 펌너트(pemnut)를 체결하는

본 논문은 2013년도 대구가톨릭대학교 연구비 지원에 의한 것임

*Corresponding Author : Seong Youb Chung(Korea National University of Transportation)

Tel: +82-43-841-5124 email: sychung@ut.ac.kr

Received October 19, 2016

Accepted February 3, 2017

Revised (1st October 28, 2016, 2nd November 4, 2016)

Published February 28, 2017

프레스 공정으로 하고 있다. 현재 버텀 새시에 팸너트를 체결하기 위해서는 프레스 위에 작업 대상물인 버텀 새시를 위치시킨 후, 네 명의 작업자가 수작업으로 팸너트를 해당 위치에 올려 놓은 후 프레스를 내려 팸너트를 체결하고 있다. LCD TV의 크기 및 모델에 따라 팸너트가 약 40 ~ 90개 가량 체결된다. 이 때 작업자들이 프레스 바로 옆에서 작업을 하고 있기 때문에 안전문제가 발생할 수 있으며, 인건비 절감 및 생산성 증대를 위하여 팸너트를 삽입하는 작업자들을 대체할 수 있는 자동화 장치의 개발이 요구되었다.

본 연구팀에서는 팸너트 자동 삽입이 가능하도록 협소공간에서 작업이 가능한 6자유도 로봇을 개발하고 있으며, 이 로봇의 작업 시간을 최소화하기 위한 작업 시퀀스 최적화 방법의 개발이 요구되었다. 본 논문의 2장에서는 이와 같은 목적을 위해 현재 개발 중인 6자유도 로봇 시스템에 대해 설명하고, 작업 시퀀스 최적화를 위한 작업 이동시간 예측 방법에 대하여 기술하였다. 3장에서는 개미집단시스템(ant colony system), 시뮬레이티드 어니일링(simulated annealing), 유전자알고리즘(genetic algorithm)에 대해 간략히 소개하고, 4장에서는 로봇의 작업 시퀀스 최적화를 위하여 수학적 모델을 제시 후, 개미집단시스템, 시뮬레이티드 어니일링, 유전자알고리즘의 세 가지 최적화 방법을 적용하여 결과를 비교하여 분석하였다. 마지막으로 로봇의 작업시퀀스 최적화 방법을 시각적으로 검증하기 위하여 Matlab과 V-REP를 사용한 시뮬레이션 결과는 5장에 기술되었다.

2. 6자유도 로봇 시스템

프레스 공정에서의 작업을 위한 다자유도 로봇 시스템은 Fig. 1과 같다. 로봇은 총 6자유도를 가지고 있으며, 로봇 기저(base)가 벽면에 부착되어 있고 말단(end-effector)에 카메라, 그립퍼 등을 부착하여 프레스 공정에서의 작업을 수행한다. Fig. 2는 로봇의 각 링크의 길이와 조인트의 좌표계를 나타낸 것이며, 로봇 기구학을 구하기 위한 링크 파라미터는 DH(Denavit-Hartenberg) 규약 [1]에 따라 정의하였으며, Table 1에 표시하였다. 여기서, a_i 는 링크의 길이를, α_i 는 링크의 비틀림각을, d_i 는 링크의 오프셋을, θ_i 는 조인트각을 나타낸다. Fig. 1의 로봇의 자세는 θ_2 가 90도이며 나머지 각도는 0도일

때이다. 개발된 로봇의 도달가능 거리는 대략 1m이고, 가반하중은 5kg이며, 무게는 모터와 모터 드라이버를 포함하여 약 20kg이다.

로봇의 작업 시퀀스를 최적화하기 위해서는 로봇의 이동시간을 예상하여야 한다. 일반적으로 산업용 로봇은 Fig. 3과 같이 가속-등속-감속의 사다리꼴 모양의 속도 프로파일을 이용하여 PTP (Point-To-Point) 모션을 수행한다. 본 논문에서 대상으로 하는 로봇 역시 PTP 모션에 사다리꼴 속도 프로파일을 이용한다.

사다리꼴 속도 프로파일을 이용하는 경우에 로봇의 이동 시간은 이동거리(ΔX), 최대속도(v_{max}), 최대가속도(a_{max})가 주어지면 식 (1) 또는 (2)와 같이 구할 수 있다. 식 (1)은 등속 구간이 있는 경우이며, 식 (2)는 그렇지 않은 경우이다. 이동시간은 가속시간과 감속시간을 같다고 가정하고 계산한 것이다.

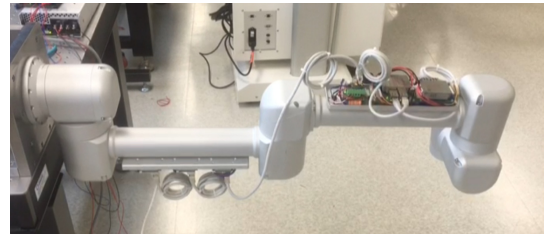


Fig. 1. 6-DOF manipulator in press forming process

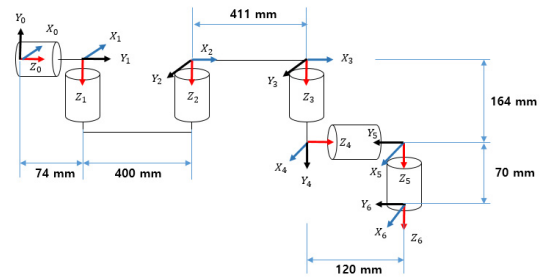


Fig. 2. Coordinate systems for the 6-DOF manipulator

Table 1. Robot D-H Parameters

i	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	90	74	θ_1
2	400	0	0	θ_2
3	411	0	0	θ_3
4	0	90	164	θ_4
5	0	-90	120	θ_5
6	0	0	70	θ_6

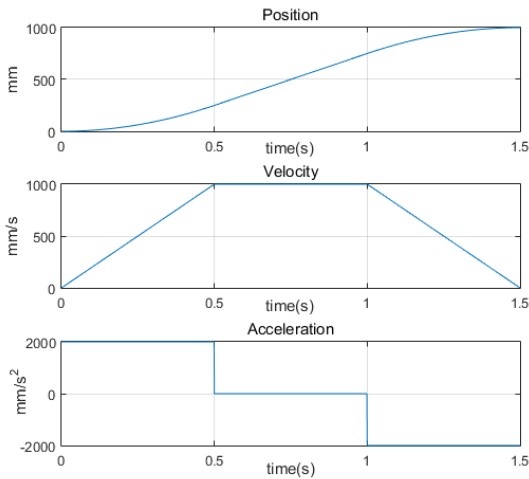


Fig. 3. Typical trapezoidal PTP motion profile

대상 로봇의 최대속도는 $1m/s$ 이며, 최대가속도는 $2m/s^2$ 이다. Fig. 3을 보면 이와 같은 조건으로 $1m$ 를 이동하는 경우에 1.5초의 시간이 필요함을 알 수 있다.

$$t_m = \frac{\Delta X}{v_{\max}} + \frac{v_{\max}}{a_{\max}}, \text{ if } \Delta X \geq \frac{v_{\max}^2}{a_{\max}} \quad (1)$$

$$t_m = 2\sqrt{\frac{\Delta X}{a_{\max}}}, \text{ if } \Delta X < \frac{v_{\max}^2}{a_{\max}} \quad (2)$$

3. 최적화 알고리즘

본 장에서는 상기 기술한 로봇의 작업 시퀀스 최적화를 위하여 적용된 개미집단시스템, 시뮬레이티드 어니일링, 유전자알고리즘의 세 가지 메타휴리스틱(meta-heuristic) 방법에 대해 간략히 소개한다.

개미집단시스템은 Colomi 외[2, 3]에 의해 제안된 개미시스템(ant system)의 개선된 방법으로, 비교적 해 공간이 커다란 문제의 최적화 문제의 해를 구하는데 많이 사용되고 있다. 개미집단시스템은 개미가 먹이를 찾고 다시 집으로 돌아올 때에 이동한 최단 경로를 찾는 것을 모방하여 만든 알고리즘이다. 먼저 개미들은 무작정 개미집 주변을 돌아다닌다. 그 후에 음식을 찾으면 개미들은 페로몬을 뿌려 집으로 돌아오게 되고 이 페로몬들은 개미를 유혹하여 페로몬을 따라 길을 찾게 된다. 개미가 집으로 돌아오는 횟수가 많아질수록 페로몬은 더욱 견고

해지게 된다. 이 때 짧은 경로의 페로몬의 경우 페로몬이 시간이 지날수록 더욱 견고해지게 되고 긴 경로의 페로몬의 경우 페로몬은 휘발성이기 때문에 시간이 지날수록 긴 경로는 사라지게 된다. 결국 모든 개미들은 짧은 경로를 선택하게 된다.

시뮬레이티드 어니일링[4, 5]은 고온 물질의 분자가 식어가는 모습을 모티브로 하여, 광역적 최적해를 찾는 문제에서 근사해를 확률적으로 찾아가는 알고리즘이다. 시뮬레이티드 어니일링은 금속학의 냉각과정에서 유래되었는데, 고온 물질의 분자가 식어가면서 점차 안정화되어 가는 과정을 묘사하여 광역적 최적화 문제에 사용된다. 그 방법에 대한 핵심 아이디어는 온도가 높을수록 분자의 자유로운 이동이 가능하며, 온도가 낮을수록 점차 안정화 되어 비교적 자유롭지 않은 이동을 한다는 것이다. 즉 고정된 입자들이 가질 수 있는 가능한 전체 상태들 중 최소에너지 값을 갖는 상태를 찾는다. 시뮬레이티드 어니일링은 온도가 높은 상태의 무작위 검색에서부터 시작해서 영점 온도에 근접할수록 순수 탐욕적 하강(greedy descent)으로 수렴하게 된다. 시뮬레이티드 어니일링에서 무작위성은 지역 최적해에서 벗어날 수 있도록 한다.

유전자 알고리즘[6-8]은 탐색 및 최적화 문제 해결을 위한 알고리즘으로, 해가 될 가능성이 있는 개체집단을 유지하고 개체의 적합도와 몇 가지 유전 연산자에 기초한 선택을 통하여 해를 찾는 진화 전략(evolution strategies)의 한 부류이다. 유전자 알고리즘에서는 각각의 가능한 해를 하나의 개체로 보며, 하나의 개체는 일반적으로 하나 이상의 염색체(chromosome)로 구성된다. 유전자 알고리즘은 개체들의 집합, 즉, 개체집단에서부터 시작된다. 하나의 개체집단에서 일부 개체들을 선택하여 이들을 변형하는 연산자들을 유전연산자라 하는데, 반복적으로 유전연산자를 이용하여 새로운 개체집단을 만들어 진화시킨다. 개체집단을 진화시키기 위하여 두 개의 염색체의 유전자를 바꾸어 새로운 개체를 발생시키는 교배(crossover)와 특정 유전자의 값을 변화시키는 돌연변이(mutation)을 일반적으로 이용한다.

4. 작업 시퀀스 최적화

프레스 내에서 로봇이 N 개의 작업 위치 v_i ($i = 0, 1, 2, \dots, N$)를 갖는다고 가정하면 (v_0 는 로봇

의 초기 위치를 의미함), 그래프 $G = (V, E)$ 로 정의될 수 있다. 여기서 V 는 꼭지점(vertex) v_i ($i = 0, 1, 2, \dots, N$)로 이루어진 집합을 의미하며, E 는 V 에 속한 서로 다른 꼭지점 간의 모서리(edge)로 이루어진 집합을 의미한다. 로봇의 작업 시퀀스 생성 문제는 완전그래프(complete graph)에서 최소 목적 함수를 갖는 해밀턴 폐회로(Hamilton closed circuit)를 찾는 문제로 정의될 수 있다. 즉, 꼭지점 $v \in V$ 와 $u \in V$ 사이의 모서리 $e_{v,u}$ 의 가중치를 $w_{v,u} \in R^+$ 라 할 때 아래와 같이 정의된다.

목적 함수:

$$\text{MIN} \sum_{i \in V} \sum_{\substack{j \in V \\ j \neq i}} w_{i,j} \cdot x_{i,j} \quad (3)$$

제약 조건,

$$x_{i,j} \mapsto 0 \text{ or } 1 \quad (\text{if a path goes } i \text{ to } j \text{ then } x_{i,j} = 1; \text{ otherwise, } x_{i,j} = 0 \text{ for all } i, j \in V)$$

$$\sum_{\substack{i \in V \\ i \neq j}} x_{i,j} = 1 \quad (j = 0, 1, \dots, N) \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{j \in V \\ j \neq i}} x_{i,j} = 1 \quad (i = 0, 1, \dots, N) \quad (5)$$

작업 위치 v 에서 u 로 이동할 때 가중치는 로봇의 예상반송시간(estimated delivery time, $\hat{dt}_{v,u}$), 예상작업시간(estimated placing time, $\hat{pt}_{v,u}$), 작업 위치 u 를 위한 조립 부품의 예상셋업시간(estimated setup time, $\hat{st}_u$)에 따라 아래와 같이 결정된다.

$$w_{u,v} = \text{MAX} \{ \hat{dt}_{v,u} + \hat{pt}_{v,u}, \hat{st}_u \} \quad (6)$$

다자유도 로봇의 작업 경로 최적화를 위하여 개미집단시스템(ant colony system), 시뮬레이티드 어니일링(simulated annealing), 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 적용하였다. 시뮬레이션을 위한 대상은 Fig. 4와 같이 55인치 LED TV의 버텀 새시 제조를 위한 프레스공정에서 펌너트 47 개를 삽입하는 작업으로 선정하였으며, 각 펌너트 위치에서 펌너트 삽입 시간은 1.0초로 설정하였다. 시뮬레이션은 HP 사의 Z420 워크스테이션(Intel Xeon CPU E5-1620 v2 @ 3.70GHz, Ram 16.0GB)에서 Mathworks 사의 Matlab(R2015a)을

사용하여 수행하였다.

개미집단시스템에서 개미 수(number of ants), 페로몬 인자(trace's effect), 거리인자(effect of distance), 페로몬 상쇄인자(evaporation coefficient), 반복횟수(iteration)를 변화시키면서 최적값을 구했다. 다른 모든 인자는 고정시킨 상태에서 하나의 인자를 변화시키면서 최적값을 출력하는 최적 인자값을 결정하였다. 최종적으로 사용된 인자값들은 Table 2와 같으며, 구해진 최적 경로는 Fig. 5와 같다.

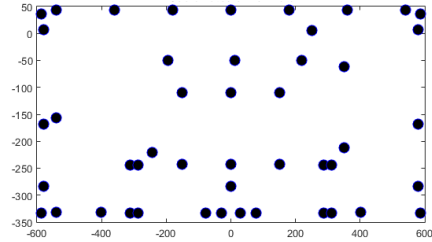


Fig. 4. Locations of the 47 pemnuts for 55" LED TV

Table 2. Parameters for the Ant Colony System

Parameter	Value
Number of Ants	100
Trace's Effects	5
Effect of Distance	5
Evaporation Coefficient	0.15
Iteration	500

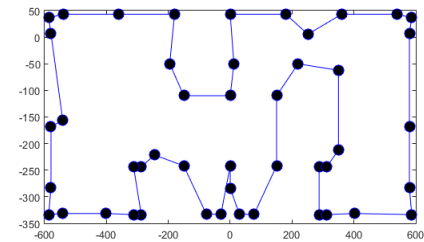


Fig. 5. Near-optimal task sequence obtained under the ant colony system

시뮬레이티드 어니일링에서 사용된 인자값들은 Table 3과 같으며, 구해진 최적 경로는 Fig. 6과 같다.

Table 3. Parameters for the Simulated Annealing

Parameter	Value
Initial Temperature	1000
Cooling Rate	0.98
Threshold	3970
Number of Vertex to Swap	2

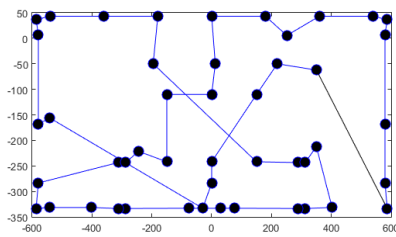


Fig. 6. Near-optimal task sequence obtained under the simulated annealing

유전자 알고리즘의 경우 유전연산자로는 수 차례의 실험 분석을 통해 가장 좋은 성능을 보인 플립(flip), 스왑(swap), 슬라이드(slide) 연산자를 선택하여 사용하였다. 플립 연산자는 염색체에서 두 개의 절단점을 랜덤하게 선택하여 이 점들 사이의 하위열을 뒤집는 것이며, 스왑 연산자는 염색체에서 두 개의 원소를 랜덤하게 선택하여 서로 맞바꾸는 방법이다. 마지막으로 슬라이드 연산자는 염색체에서 두 개의 절단점을 랜덤하게 선택하여 오른쪽으로 시프트하는 방법이다. 유전자알고리즘에서 사용된 주요 인자는 Table 4와 같으며, 구해진 최적 경로는 Fig. 7과 같다.

Table 4. Parameters for the Genetic Algorithm

Parameter	Value
Population	40
Iteration	1000

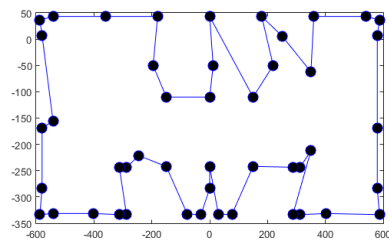


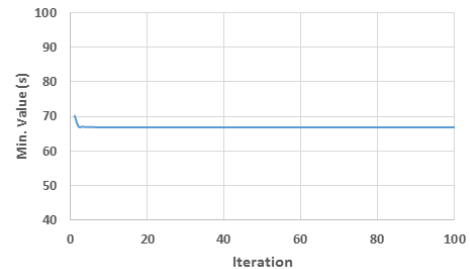
Fig. 7. Near-optimal sequence obtained under the genetic algorithm

Table 5는 위의 세 가지 메타 휴리스틱 방법을 적용했을 때 구해진 작업 최소 시간을 비교한 결과이며, 유전자 알고리즘이 다른 두 가지 알고리즘과 비교하여 최적에 가까운 결과를 보였다. Fig. 8은 각 알고리즘 적용 시 각 반복횟수에 따른 최적해에 수렴하는 것을 보여준다. 다만, 세 가지 메타 휴리스틱 알고리즘의 특성이 달라 각 반복횟수에 소요되는 계산 복잡도가 상이하게 다르며,

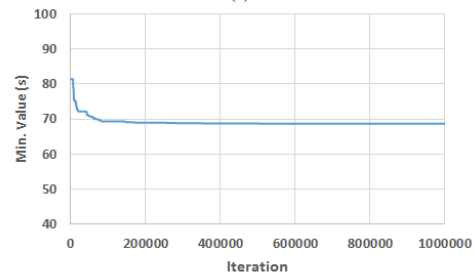
파라미터 세팅에 따라 반복횟수에 따른 수렴 정도가 다르다. 따라서 수렴 그래프를 보고 세 알고리즘의 계산 시간 등의 단순 비교는 어렵다.

Table 5. The minimum values under the three meta-heuristic methods

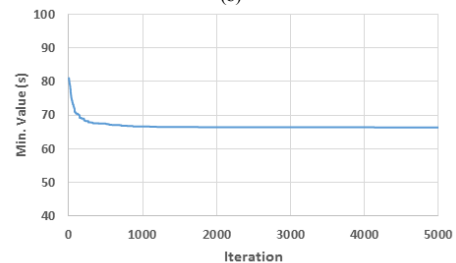
	Min. Value (s)
Ant Colony System	66.8
Simulated Annealing	68.7
Genetic Algorithm	66.4



(a)



(b)



(c)

Fig. 8. Best solution history under (a) the ant colony system, (b) simulated annealing, and (c) the genetic algorithm

5. 시뮬레이션

로봇의 작업시퀀스 최적화 방법을 검증하기 위하여 Matlab과 V-REP를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

V-REP은 기본 로봇 라이브러리를 가지고 있으며, 사용자가 모델링한 로봇을 이용하여 시뮬레이션을 시각적으로 수행할 수 있는 툴이다. 또한, 원격 API를 제공하여 Matlab, ROS, Python, C/C++, Java 등과 같은 다른 S/W 툴과 통신을 통해 시뮬레이션을 수행할 수 있는 특징을 가지고 있다 [9, 10]. Fig. 9는 본 논문에서 사용한 시뮬레이션 구조를 나타낸다. 모션 생성기(motion generator)는 최적 시퀀스 데이터를 참조하여 현재 위치 X_i 에서 다음 위치 X_{i+1} 까지 도달하기 위한 모션 $X_{i,j}$ 를 생성한다. 작업 공간에서 위치 $X_{i,k}$ 는 역기구학을 통해 조인트 공간 $Q_{i,k}$ 로 변환되어 V-REP 시뮬레이터로 전달된다. V-REP 시뮬레이터는 $Q_{i,k}$ 값을 받아 로봇의 위치에 반영한다. Fig. 10은 V-REP 시뮬레이션 환경으로 프레스 내부에 작업 대상을 로봇의 끝단에 연결되어있는 카메라를 이용하여 검사하는 상황을 나타낸다. Fig. 11은 시뮬레이션 과정 동안 시간의 흐름에 따라 화면을 캡처한 것으로 작업 시퀀스의 첫 번째 위치가 왼쪽 상단이며 화살표 방향으로 시뮬레이션이 진행이 되었다. 시뮬레이션 내의 카메라 영상을 보면, 최적 시퀀스에 따라 로봇이 검사 위치를 잘 추종하는 것을 확인할 수 있다.

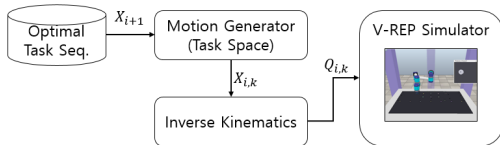


Fig. 9. Simulation using Matlab and V-REP

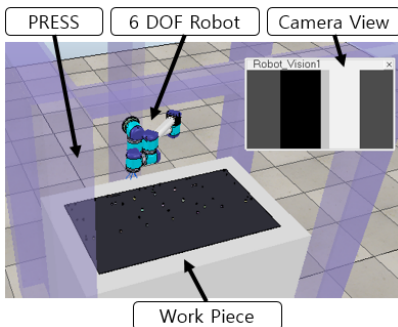


Fig. 10. Simulation environment

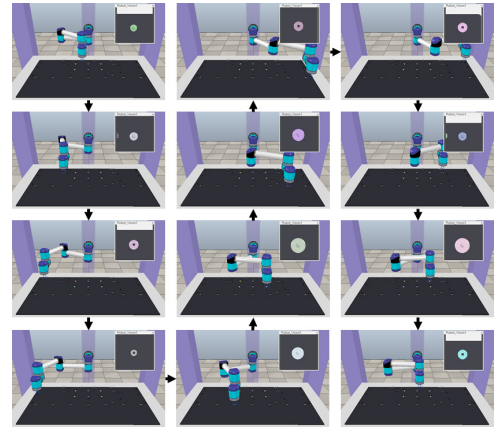


Fig. 11. Simulation result

6. 결론

본 논문은 프레스 공정에서 6자유도 로봇의 작업 시퀀스 최적화에 대한 내용으로,

- 1) 개발 중인 로봇의 속도 프로파일 계산하여 작업 경로의 시간을 예측한 후 작업 시퀀스 최적화 방법을 적용하였다.
- 2) 본 논문에서 다루고 있는 작업 시퀀스 최적화 문제는 NP-hard 문제로서 개미집단시스템, 시뮬레이티드 어니일링, 유전자 알고리즘의 세 가지 메타 휴리스틱 방법을 적용하여 결과를 비교하였다. 비교 결과를 정리하면 다음과 같다.
 - ① 시뮬레이션 결과 유전자 알고리즘과 개미집단시스템이 시뮬레이티드 어니일링 방법보다 최적에 가까운 해를 찾았다.
 - ② 유전자 알고리즘의 경우 세 가지 방법 중 가장 빨리 최적값에 수렴하여 계산 속도 측면에서 가장 좋은 성능을 보였으며, 그 다음으로 개미집단시스템, 시뮬레이티드 어니일링의 순서로 빠른 계산 속도를 보였다.
 - ③ 개미집단시스템과 시뮬레이티드 어니일링의 경우 여러 파라미터 값들의 설정에 따라 수렴된 최적값의 편차가 비교적 큰 것에 비하여, 유전자 알고리즘은 파라미터 값에 상관없이 안정적으로 근사 최적값을 찾을 수 있었다.
 - ④ 유전자 알고리즘으로 찾아진 근사 최적 작업 시퀀스를 토대로 V-REP을 이용하여 시뮬레이

선 검증을 마쳤다.

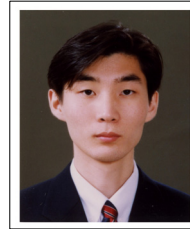
- 3) 향후 6자유도 로봇의 개발이 완료되면 LCD TV의 버팀 새시 제작을 위한 프레스 공정에 적용될 예정이다.

References

- [1] J. Denabib and R. S. Hartenberg, "A Kinematic Notation for Lower Pair Mechanisms Based on Matrices", ASME Journal of Applied Mechanics, vol. 22, pp. 215-221, 1955.
- [2] A. Colorni, M. Dorigo, and V. Maniezzo, "Distributed Optimization by Ant Colonies", in Proceedings of the First European Conference on Artificial Life, Dec. 1991.
- [3] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colorni, "Ant System: Optimization by a Colony of Cooperation Agents", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, vol. 26, no. 1, pp. 29-41, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/3477.484436>
- [4] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt Jr, M. P. Vecchi, M. P., "Optimization by Simulated Annealing", Science, vol. 220, no. 4598, pp. 671 - 680, 1983.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.220.4598.671>
- [5] W. K. Kim, Y. J. Kim, H. C. Lee., "The Multi-Objective Optimal Design of Vehicle Component Manufacturing System with Simulation and ANP", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 11, no. 12, pp. 4697-4706, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.12.4697>
- [6] J. H. Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [7] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms, Pearson Education, India, 2006.
- [8] J. H. Lee, "A Change of Peak Outflows due to Decision of Flow Path in Storm Sewer Network", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 11, no. 12, pp. 5151-5156, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.12.5151>
- [9] Coppelia Robotics GmbH. V-REP simulator. URL <http://www.coppeliarobotics.com>. (accessed Oct., 13, 2016)
- [10] R. Spica, G. Claudio, F. Spindler, and P. R. Giordano, "Interfacing Matlab/Simulink with V-REP for an Easy Development of Sensor-Based Control Algorithms for Robotic Platforms", in Workshop on MATLAB/Simulink for Robotics Education and Research, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2014.

윤 현 중(Hyun Joong Yoon)

[정회원]



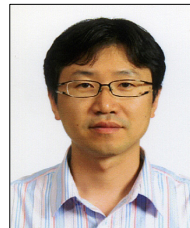
- 1997년 2월 : 연세대학교 기계공학과 (공학학사)
- 1999년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2004년 4월 ~ 2005 3월 : National Research Council Canada, Postdoctoral Fellow
- 2005년 5월 ~ 2008년 8월 : 삼성전자 생산기술연구원 책임연구원
- 2008년 9월 ~ 현재 : 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

생산시스템 최적화 및 시뮬레이션, 지능로봇 소프트웨어

정 성 엽(Seong Youb Chung)

[정회원]



- 1994년 2월 : 연세대학교 기계공학과 (공학학사)
- 1996년 2월 : KAIST 정밀공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2005년 4월 ~ 2007년 3월 : 삼성중공업 메카트로닉스센터 책임연구원
- 2007년 4월 ~ 현재 : 한국교통대학교 기계공학과 부교수

<관심분야>

양팔 로봇 시스템, 머신 비전, 지능로봇 소프트웨어