

# 굴삭기를 이용한 돌쌓기 장치 개발 Development of Stone Piling-up Device for an Excavator

권순광 · 김용석 · 이동영 · 이창돈 · 양순용  
S. K. Kwon, Y. S. Kim, D. Y. Lee, C. D. Lee and S. Y. Yang

**Key Words** : Stone piling-up device(돌쌓기 장치), Excavator(굴삭기), Reversal(전도)

**Abstract:** The application of an excavator can be expanded to various works through change of end-effector. In this paper, a gripper, which can pick up and rotate a fixed formal stone, was developed. The device was designed and produced to pick up and rotate a stone for an excavator. The maximum weight of stone was computed to prevent from reversal in according to each displacement of attachments. The necessary force of a hydraulic cylinder to grip a stone was obtained by simulation.

## 기호 설명

- $\theta_1$  : 붐의 회전각
- $\theta_2$  : 암의 회전각
- $\theta_3$  : 버킷의 회전각
- $L_{cy}$  : 유압실린더 양단의 최소길이
- $L_{st}$  : 유압실린더의 스트로크
- $F$  : 유압실린더의 출력
- $W$  : 피파지체의 무게
- $x, y$  : 각 지점의 2차원 좌표상 좌적
- $\mu$  : 마찰계수

## 1. 서 론

도시기반시설 조성 및 도로건설, 축조공사 등에서 이루어지는 돌담, 제방 등의 축조에는 다양한 형태의 돌이 이용되고 있다. 일반적으로 돌은 중량물로서 다루기가 쉽지 않기 때문에 돌을 이동시키고 들어 올려 쌓는 작업은 많은 인원이 동원된 수작업으로 이루어지거나, 로프 등을 사용한 크레인, 굴삭기 등을 이용하거나 또는 굴삭기의 버킷에 돌을 담아서 이동하는 방법 등이 이용되고 있다. 또한 돌담 등이 반듯하게 축조되기 위해서는 돌의 반듯한 면을 최대

한 면의 면으로 향하도록 쌓아야 하나, 수작업에 의지하거나 로프나 버킷으로 작업할 경우 알맞은 방향으로 돌려서 쌓는 작업은 결국 수작업을 통해 이루어지므로 작업 효율이 낮다. 사람의 손으로 불특정한 형태의 작은 블록을 쌓듯이 돌을 파지하고 회전시킬 수 있는 전용 작업장치는 사람의 팔을 닮은 굴삭기의 붐, 암과 더불어 사람의 손가락을 대신한다고 할 수 있고, 소형이면서 고출력을 내는 유압 구동의 유압 모터나 실린더로 구동함으로써 효율의 상승을 기대할 수 있다.

본 논문에서는 다양한 형태를 물체를 파지할 수 있는 장치의 개발을 위한 선행연구로서 정형화된 형상의 돌을 파지하고 선회할 수 있는 집게장치에 대한 기구학적 설계를 수행하고, 시제품을 제작하였다.

## 2. 모델링

### 2.1 굴삭기 어태치먼트의 모델링

적용대상은 1.5톤 굴삭기이고, 좌표계는 Fig. 1과 같다.

#### 2.1.1 어태치먼트의 시뮬레이션

작업시 굴삭기의 전도를 방지하기 위해서는 작업 거리에 따른 전도하중선도를 구할 필요가 있다. 지면에서 붐 조인트까지의 높이로 집게장치의 양 끝단이 수평 이동하기 위한 붐(Boom), 암(Arm), 버킷(Bucket)의 회전각 변위는 Fig. 2와 같고, 이를 연속적으로 나타내면 Fig. 3과 같다.

---

접수일 : 2008년 7월 10일  
 권순광, 김용석, 이동영 : 울산대학교 대학원 기계자동차공학과  
 이창돈 : 울산대학교 BK21 지능형자동차부품기술개발팀  
 양순용(책임저자) : 울산대학교 기계자동차공학부  
 E-mail : soonyy@ulsan.ac.kr, Tel : 052-259-2820

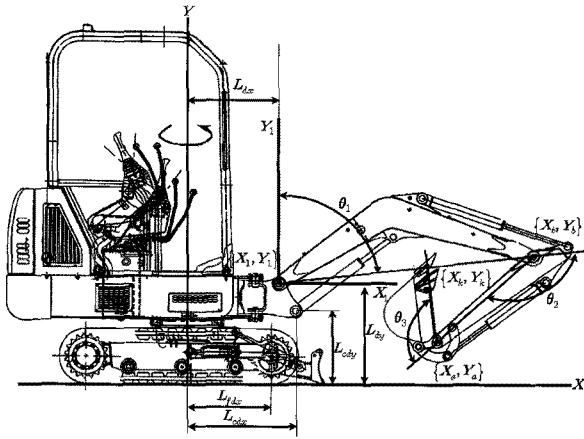


Fig. 1 Coordinates of each attachment in excavator

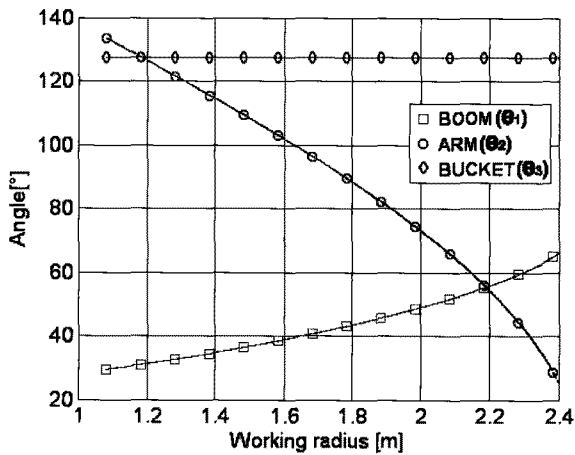


Fig. 2 Angles of attachments

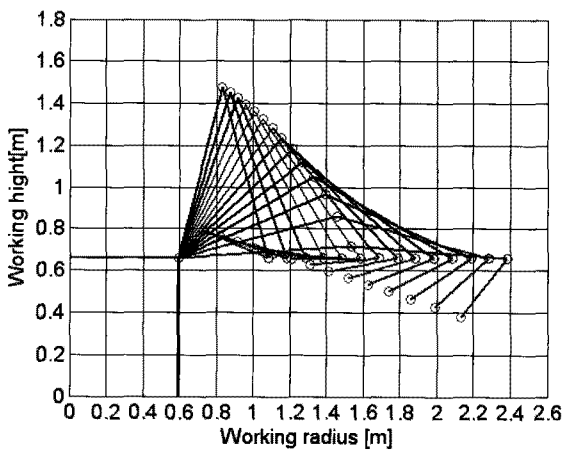


Fig. 3 Trajectories of attachments

Fig. 3의 각 관절은 붐, 암, 버킷의 조인트를 나타내며, 본 연구에서 개발하고자 하는 장치를 포함한 전도하중을 계산하기 위해 암의 끝점이 평행 이동하는 각 관절의 각도를 구하였다. 집게장치 장착을 위

해 버킷을 탈거해야 하고, 이로 인해 버킷의 각도( $\theta_3$ )는 고려 대상이 되지 않기 때문에 일정한 각도로 고정시켰다.

## 2.2 집게장치의 모델링

실린더에 공급되는 시스템 압력으로부터 그립 패드면의 파지력을 계산하기 위하여 실린더의 스트로크에 따라 변화되는 그립 끝단의 좌표를 알아내기 위하여 기구학적인 모델링을 수행하였다. 모멘트 평형 방정식을 이용하여 수평거리에 대한 최대전도하중을 도출하면 Fig. 4와 같다.

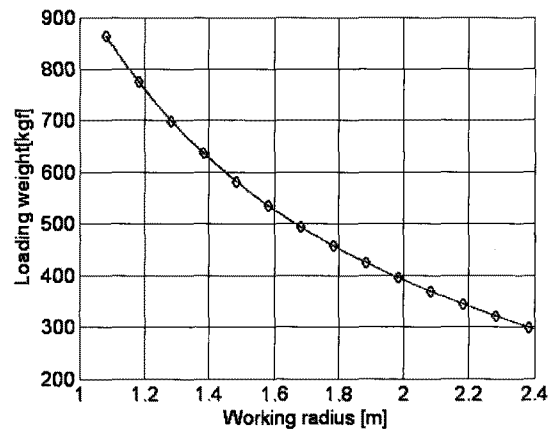


Fig. 4 Max loading weight

따라서 전도가 이루어지지 않기 위해서는 피파지체를 포함한 작업장치의 질량이 300[kg] 이하가 되어야 함을 확인하였다.

### 2.2.1 제원

Fig. 5와 Fig. 6에 도시한 집게장치의 기구학적 시뮬레이션을 위한 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Parameters for simulation

$L_{11} = 85.51mm$	$\theta_{12} = 168.45^\circ$	$L_{22} = 291.4mm$
$L_{12} = 290.92mm$	$\theta_{13} = 17.04^\circ$	$L_{23} = 64.523mm$
$L_{13} = 322.46mm$	$\theta_{15} = 39.64^\circ$	$L_{24} = 72.52mm$
$L_{cy} = 284.8mm$	$L_e = 128.0mm$	$\theta_{22} = 105.46^\circ$
$L_{st} = 0 \sim 90mm$	$L_{21} = 64.0mm$	

### 2.2.2 수학적 모델링

Fig. 5는 좌측 그립핑거의 끝단좌표계의 설정을, Fig. 6은 우측 그립핑거 끝단좌표계의 설정을 도시하였다.

좌측 그림핑거의 궤적을 나타내면 아래와 같고,

$$\theta_{14} = \cos^{-1} \left( \frac{L_{11} + L_{13} - (L_{cy} + L_{st})^2}{2 \times L_{11} \times L_{13}} \right)$$

$$\theta_{11} = \theta_{13} + \theta_{14}$$

$$x_{11} = L_{11} \times \cos(\theta_{11})$$

$$y_{11} = L_{11} \times \sin(\theta_{11})$$

$$x_{12} = L_{12} \times \cos(\theta_{11} + \theta_{12}) \quad (1)$$

$$y_{12} = L_{12} \times \sin(\theta_{11} + \theta_{12}) \quad (2)$$

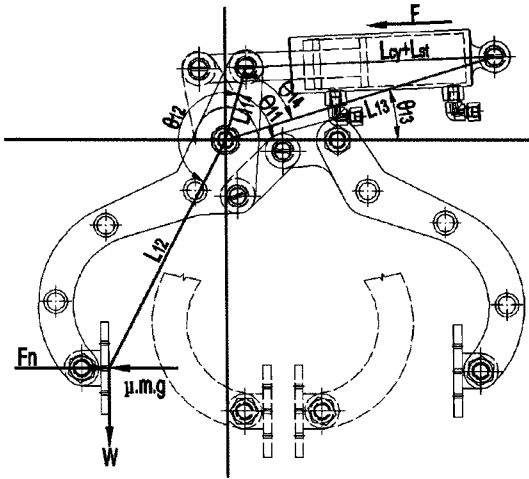


Fig. 5 Coordinates of left finger

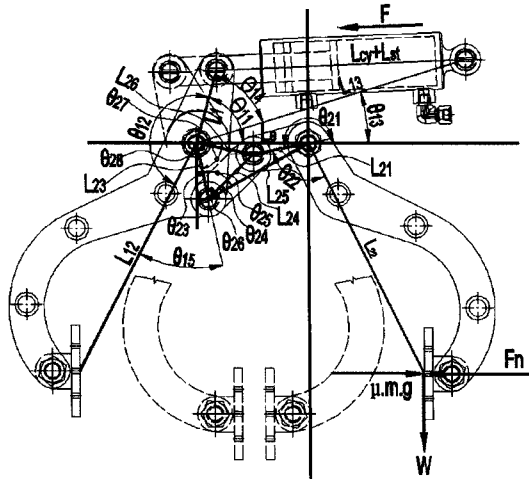


Fig. 6 Coordinates of right finger

우측 그림핑거의 이동궤적은 아래와 같이 표현된다.

$$x_{23} = L_{23} \times \cos(\theta_{11} + \theta_{12} + \theta_{15})$$

$$y_{23} = L_{23} \times \sin(\theta_{11} + \theta_{12} + \theta_{15})$$

$$\theta_{23} = \cos^{-1}(-y_{23}/L_{23})$$

$$L_{25} = \sqrt{L_{23}^2 + L_e^2 - 2 \times L_{23} \times L_e \times \cos(\theta_{27})}$$

$$\theta_{24} = \cos^{-1} \left( \frac{L_{24} + L_{25} - L_{21}^2}{2 \times L_{24} \times L_{25}} \right)$$

$$\theta_{25} = \cos^{-1} \left( \frac{L_{23} + L_{25} - L_e^2}{2 \times L_{23} \times L_{25}} \right)$$

$$\theta_{26} = \theta_{25} - \theta_{24}$$

$$L_{26} = \sqrt{L_{23}^2 + L_{24}^2 - 2 \times L_{23} \times L_{24} \times \cos(\theta_{26})}$$

$$\theta_{28} = \cos^{-1} \left( \frac{L_{23} + L_{26} - L_{24}^2}{2 \times L_{23} \times L_{26}} \right)$$

$$x_{26} = L_{26} \times \cos(\theta_{11} + \theta_{12} + \theta_{15} + \theta_{28}) \quad (3)$$

$$y_{26} = L_{26} \times \sin(\theta_{11} + \theta_{12} + \theta_{15} + \theta_{28}) \quad (4)$$

여기서 우측 그림의 고정 피벗 점을 새로운 좌표계로 설정 변환한다.

$$x_{21} = -128 + x_{26}$$

$$y_{21} = y_{26}$$

$$\theta_{21} = -180 + \cos^{-1}(y_{21}/L_{21})$$

$$x_{22} = L_{22} \times \cos(\theta_{21} + \theta_{22}) \quad (5)$$

$$y_{22} = L_{22} \times \sin(\theta_{21} + \theta_{22}) \quad (6)$$

### 2.2.3 시뮬레이션

실린더 스트로크의 변화에 따른 좌우측 그림 끝단의 기구학적 시뮬레이션을 통해 Fig. 7과 같은 끝단의 이동궤적을 얻었다. 좌표계의 원점으로는 좌측 그림핑거의 회전중심을 설정하였다.

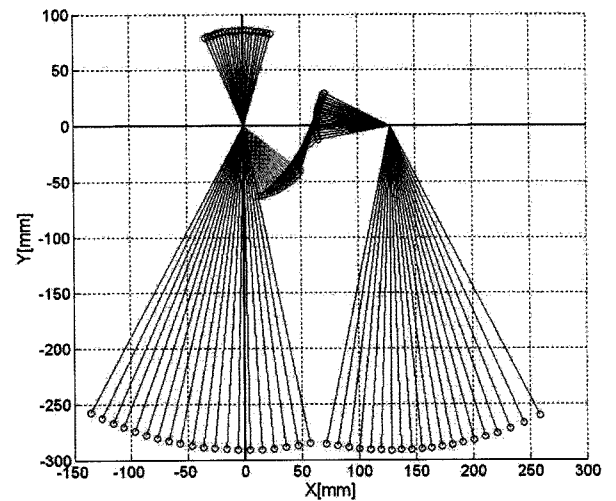


Fig. 7 Simulation of trajectories

### 3. 그리프장치의 설계

#### 3.1 기본설계사양

시뮬레이션 결과 대상 굴삭기의 전도하중과 작업 능력, 그리고 집게장치의 자체 질량, 안전율을 고려한 결과 본 장치를 이용해 작업 가능한 피파지체는 최대 200[kg]으로 한정된다. 도심지 작업에 주로 이용되는 대상 굴삭기의 특성을 고려하여 작업 대상물을 인도와 차도 사이의 경계석으로 선정하였다.

#### 3.2 구동장치

집게장치는 양쪽 집게장치가 경계석을 파지할 수 있도록 하나의 유압실린더를, 선회부는 로터리 액추에이터를 선정하였다.

##### 3.2.1 유압실린더

본 장치의 최대 작업 가능한 피파지체의 질량인 200[kg]의 블록을 Fig. 8과 같이 작업장치가 파지했을 때의 실린더의 요구출력을 마찰계수를 변화시키면서 계산했을 때의 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

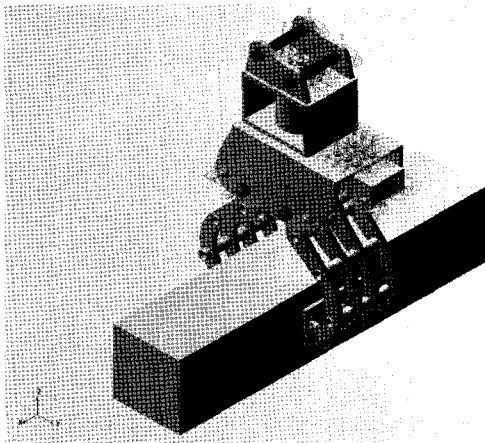


Fig. 8 Simulation of required power

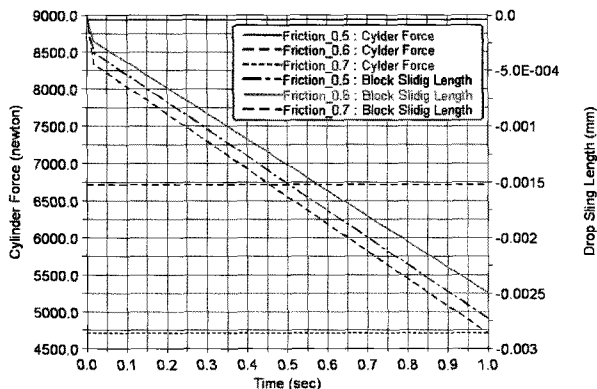


Fig. 9 Correlation between friction and cylinder force

실린더 요구출력은 그림으로부터 블록의 미끄러짐이 최소가 되는 순간에 요구되는 힘이다. 블록과 집게 베이스 사이의 마찰계수가 0.5이면 8,950[N]이 필요하고, 0.6이면 6,710[N]이 필요하며, 0.7일 경우 4,710[N]이 필요한 것으로 나타났다. 즉, 블록과 집게 베이스 사이의 마찰계수를 상승시키게 되면 요구되는 실린더의 출력을 감소시킬 수 있다.

#### 3.2.2 로터리 액추에이터

집게장치의 선회부는 축 방향으로 큰 하중이 작용하게 되므로 이를 위해 축방향력이 18,000[N]이고, 정격토크가 720[N·m]인 로터리 액추에이터를 선정하였다.

#### 3.3 강도해석

집게장치의 각 구조물에 대해 강도해석을 수행하였다. 작용하중은 마찰력을 고려한 실린더 출력을 적용하였다. 마찰계수를 고려한 마찰력과 실린더 출력과의 관계로부터 요구 실린더 출력의 약 30% 안전율을 고려하여 12,000[N]의 하중이 작용하는 것으로 가정하였다. 강도해석에 적용한 재질은 ASTM-A36(항복강도 :  $2.5 \times 10^8$  [N/m<sup>2</sup>])을 적용하였다.

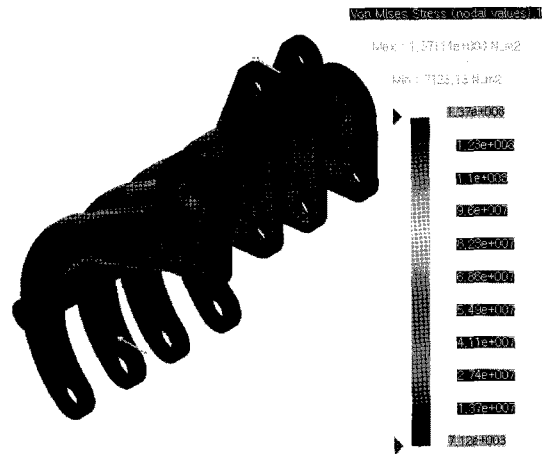


Fig. 10 Stress analysis

### 4. 구동회로 설계

#### 4.1 회로도

구동유압은 대상 굴삭기의 브레이크(Braker) 사용 포트의 유압을 입출력으로 사용하였다. 유압실린더와 로터리 액추에이터에 각각 솔레노이드 방식의 방향 제어밸브를 설치했다. 구동시스템 유압회로도는 Fig. 11과 같다.

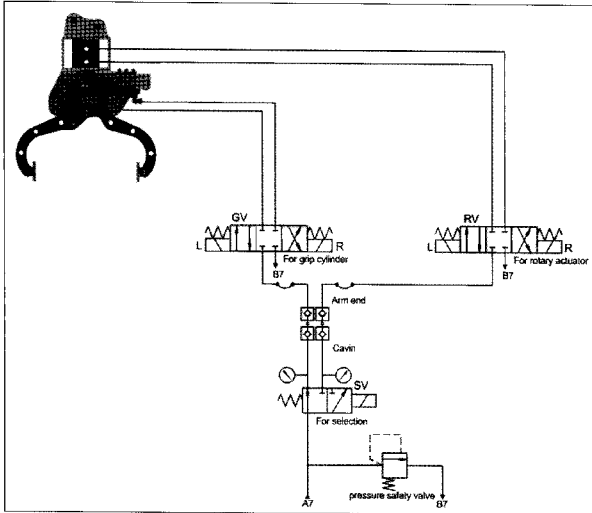


Fig. 11 Circuit diagram for driving system

### 5. 실험 및 고찰

#### 5.1 실험장치 제작

제작도면을 바탕으로 제작한 집게장치 시제품을 제작하였다. 시제품 제작에 사용한 재질은 스틸 SM45C이고 그립패드의 마찰재는 라이닝 패드를 적용하였다. 시제품은 Fig. 12와 같다.

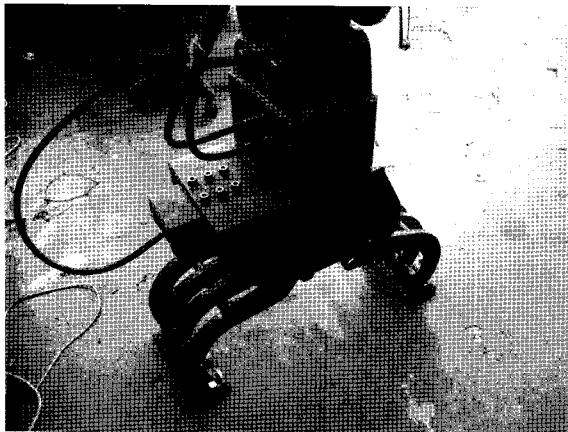


Fig. 12 Prototype using grip pad

실험은 도로경계석의 Table 2에 나타난 2가지 규격에 대하여 수행하였다.

Table 2 Standards of boundary stones

classification	dimensions(mm)			mass (kg)	remarks
	width	thickness	length		
Case 1	150	150	1,000	65.00	straight
Case 2	150	150		50.00	curve

#### 5.2 실험결과

대상 굴삭기에 집게장치를 장착하여 경계석에 대한 파지, 인양, 선회작업을 수행하는 모습을 Fig. 13에 나타내었다. 경계석 규격 Case 1,2에 대한 파지와 인양 그리고 선회가 정상적으로 이루어져 작업이 양호하였다.



Fig. 13 Field test

### 6. 결론

본 연구에서는 굴삭기를 이용해 정형화된 형상의 돌을 파지하고 선회할 수 있는 집게장치를 개발하였다. 시뮬레이션을 통해 200[kg]의 최대 인양가능한 피파지체의 질량을 얻었고, 구동장치를 선정하였으며, 강도해석 등을 실시하였다. 또한 시제품을 제작하여 1.5톤급 굴삭기를 이용해 필드테스트를 시행하였다. 이 테스트를 통해 65[kg] 이하의 도로경계석을 인양 및 선회하는데 성공하였다.

### 참고 문헌

- 1) T. R. Kane, "Dynamics : Theory and Application", McGraw-Hill, 1985
- 2) T. Mason and J. K. Salisbury, "Robot hands and the mechanics of manipulation", The MIT Press, Cambridge USA, 1985.
- 3) T. Yoshimura and K. Etokoro, "A Simulation study of Leveling Control by Hydraulic Shovels", JSME, Vol. 58, No. 554, 1992.
- 4) 엄혁, 최종환, 김승수, 양순용, 이진걸, "유압굴삭기의 크레인 작업시 전도 안정성에 관한 연구", 한국공작기계학회논문집, 제 13권, 제 4호, pp. 64~72, 2004.
- 5) 최종환, 김승수, 양순용, 이진걸, "유압굴삭기의

- 궤적 추종을 위한 강인 제어”, 제어자동화공학논문지, 제 10권, 제 1호, pp. 22~29, 2004
- 6) 이홍선, 이민희, 임태형, 천세영, 양순용, "크레인 기능 부착 기능형 유압 굴삭기 시스템 개발", 한국공작기계학회논문집, 제 15권, 제 5호, 2006.
- 7) 엄혁, 최종환, 김승수, 한현용, 양순용, 이진걸, "듀얼-핑거의 안정적 파지 운동 제어에 관한 연구", 한국공작기계학회논문집, 제 14권, 제 4호, 2005.