

# 유압 구동식 로봇의 유량 포화 상태 추정 및 유량 분배 알고리즘

## Estimation of Flow Saturation and Flow Distribution Algorithm for Hydraulic Dual-Arm Robot

○박 성 진<sup>1</sup>, 이 진 이<sup>2</sup>, 임 기 홍<sup>2</sup>, 정 원 석<sup>1</sup>, 박 중 원<sup>2\*</sup>

<sup>1)</sup> 충남대학교 기계공학과 (TEL: 010-4032-3067; E-mail: tjdwls03465@naver.com)

<sup>2)</sup> 한국원자력연구원 로봇응용연구실 (TEL:042-866-6533; E-mail: jwpark@kaeri.re.kr)

**Abstract** The controller of hydraulic manipulators is typically designed without considering Flow Saturation, which refers to situations where the demand for flow exceeds the maximum supply flow of the hydraulic system. In this paper, we propose a Flow Rate Estimator to estimate Flow Saturation situations and a Flow Distributor to address them. It is expected that these solutions will resolve issues arising from Flow Saturation, such as unintended actions of end effectors due to large actuators unable to follow the reference input path.

**Keywords** Hydraulic manipulator, Dual arm, Motion following, Flow saturation

### 1. 서론

유압 매니플레이터의 제어기는 대부분 유압 시스템의 최대 공급 유량을 초과하는 유량을 요구하는 상황, 즉 Flow Saturation 을 고려하지 않고 설계된다. 이때 부하가 큰 액추에이터는 기준 입력 경로를 따라가지 못하여 엔드 이펙터의 의도하지 않은 동작을 야기할 수 있다. 이는 중대한 안전사고를 초래할 수 있다.[1]

본 논문에서는 Flow Saturation 상황을 추정하기 위한 Flow Rate Estimator 와 Flow Saturation 상황을 해소하기 위한 Flow Distributor 를 제안한다.

error  $e = q_d - q$  에 비례하여 공급 유량  $Q_p(provided)$ 에 해당하는 유량을 공급한다. 또한 Joint Controller 에서는 tracking error  $e$ 와 HPU 의 회전 속도  $N_p$ 를 입력으로 받아서 command input  $u$ 를 계산하고 Valve 에 전압을 인가한다. 밸브의 인가된 전압은 액추에이터의 전달하는 유량을 제어한다. 이때 밸브를 통과하는 수요 유량  $Q_d(demanded)$ 가 공급 유량  $Q_p$ 을 넘어서게 되면 액추에이터의 공급되는 유량이  $Q_p$ 를 넘지 못하고 Flow Saturation 상태가 된다. Flow Saturation 상태가 되면 매니플레이터의 액추에이터 중 부하가 가장 크게 걸리는 등의 유압 저항이 낮은 축이 선행으로 움직이게 된다. 이는 엔드 이펙터의 의도하지 않은 동작을 초래하며, 시스템 압력이 낮아져 원하는 Force 를 공급하지 못하도록 작용한다.

### 2. 고 하중 양팔 로봇의 시스템 구성.

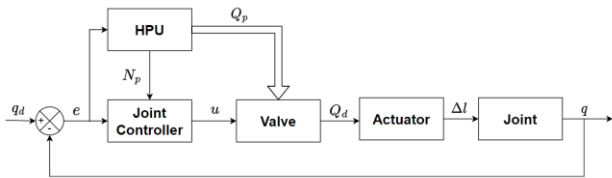


그림 1 고 하중 양팔 로봇의 시스템 개략도

고 하중 양팔 로봇 시스템의 경우 그림 1 과 같이 구성된다. HPU(Hydraulic Power Unit)에서는 tracking

### 3. Flow Rate Estimator

#### 3.1 HPU Flow Rate Estimation

고 하중 양팔 로봇의 HPU 의 경우 Fixed displacement pump 와 electric motor 가 결합한 시스템으로 구성되어 있다. 따라서 공급 유량  $Q_p$ 는 펌프의 1 회전당 용적  $V_p$ 와 모터의 회전속도  $N_p$ 를 이용하여 다음과 같이 추정한다.

$$\hat{Q}_p = V_p \cdot N_p \tag{1}$$

#### 3.2 Joint Flow Rate Estimation

고 하중 양팔 로봇 시스템의 경우 한 팔당 8 개의

\* 본 연구는 202 년도 산업통산자원부 및 산업기술기획평가원 (KEIT) 연구비 지원에 의하여 연구되었음. (20233294)

Valve 가 장착되어 총 16 개의 Valve 를 운용한다. 각 밸브 수요 유량 추정 값  $\hat{Q}_{d_i}$  를 합산하여 전체 시스템의 예상 수요 유량  $Q_d$  를 계산할 수 있다.

$$\hat{Q}_d = \sum_{i=1}^{16} \hat{Q}_{d_i} \quad (2)$$

고 하중 양팔 로봇 시스템에서는 directional control valve 를 사용하고 있다. 밸브 제조사가 제공하는 특성 곡선을 기반으로 피팅함수를 구하고, 이를 매핑하여  $\hat{Q}_{d_i}$  를 계산한다. 이 과정에서, 수요유량 추정값  $\hat{Q}_{d_i}$  는 input command 와 유량의 함수로 정의된다.

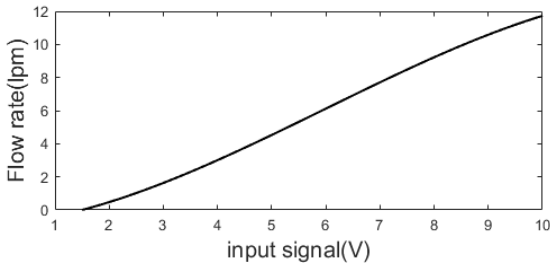


그림 2 Valve Characteristic Curve 그래프

#### 4. Flow Distributor

Flow Distributor 는 Flow Saturation 상황( $Q_d > Q_p$ )에서, 밸브에 인가되는 Command input 값을 일정 비율로 감소시켜 Flow Saturation 상태를 해소하고, 기준 입력 경로와 실제 움직인 경로의 차이를 최소화하는 것이 목적이다.

이전 섹션에서 얻은 추정 공급유량  $\hat{Q}_p$  과 추정 수요 유량  $\hat{Q}_d$  을 이용하여 Flow Distributor 계수  $k_{fd}$  를 계산하고 command value  $u$  를 다음과 같이 제한한다.

$$k_{fd} = \frac{\hat{Q}_p}{\hat{Q}_d} \quad (3)$$

$$u = \begin{cases} u, & k_{fd} \geq 1 \\ k_{fd}u, & k_{fd} < 1 \end{cases} \quad (4)$$

#### 5. 결론

본 논문에서는 Flow Estimator 와 Flow Distributor 를 추가하여 Joint Controller 를 구성하였다. Joint Controller 의 구조는 그림 4 와 같다. 제어기 단계에서 Flow saturation 상황을 추정하고 input value 를 제한하여 엔드 이펙터의 의도치 않은 동작의 발생을 방지할 것으로 기대된다.

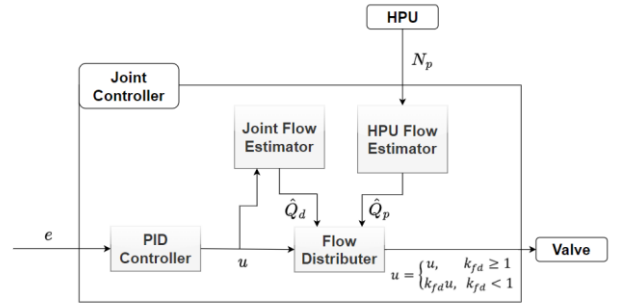


그림 4 Joint Controller 개략도

#### 참고문헌

- [1] Min Cheng and Linan Li, "Real-Time Anti-Saturation Flow Optimization Algorithm of the Redundant Hydraulic Manipulator," *Actuators*, Volume. 10, Issue 1, 8th, July, 2021.
- [2] S. Jung, "Improvement of tracking control of a sliding mode controller for robot manipulators by a neural network", *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 16, no. 2, pp. 937-943, Apr. 2018.
- [3] 임도현, "유압시스템을 사용한 고 하중 양팔 로봇의 모션 추종 성능 향상을 위한 슬라이딩 모드 제어," *제어로봇시스템학회 논문지*, 제29권, 제2호, pp. 147-154, 2023.02