



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

독립제어밸브에 의한 굴삭기
버킷 액추에이터 압력 제어 및
회생 에너지에 관한 연구



2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

제어기계공학과

정 태 량

공 학 석 사 학 위 논 문

독립제어밸브에 의한 굴삭기 버킷
액추에이터 압력 제어 및 회생
에너지에 관한 연구

지도교수 양 주 호

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2016년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

제어기계공학과

정 태 량

정태랑의 공학석사 학위논문을 인준함

2015 년12 월17 일



주 심 공 학 박 사 문덕홍 (인)

위 원 공 학 박 사 장지성 (인)

위 원 공 학 박 사 양주호 (인)

목 차

Abstract	ii
기호설명	iv
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적	2
1.3 논문의 구성	3
제 2 장 제어시스템 설계를 위한 시스템 해석	4
2.1 굴삭기 시스템의 개요	4
2.2 밸브 면적의 수학적 기술	7
2.3 IMV 버킷 시스템의 수학적 해석	9
제 3 장 제어시스템의 설계	12
3.1 비 회생 회로의 제어시스템 구성 및 동작	12
3.2 비 회생 회로의 제어 알고리즘	13
3.3 회생 회로의 제어시스템 구성 및 동작	16
3.4 회생 회로의 제어 알고리즘	17
제 4 장 실험 및 결과	19
4.1 실험 장치 구성 및 동작	19
4.2 비 회생 시스템의 실험 결과	21
4.3 회생 시스템의 실험 결과	23
4.4 소비 에너지 비교 결과	25
제 5 장 결 론	29
참 고 문 헌	30

A Study on Bucket Actuator Pressure Control and Regeneration Energy for Excavator by Independent Metering Valve

Tae-Rang Jung

*Department of Control & Mechanical Engineering,
The Graduate School,
Pukyong National University*

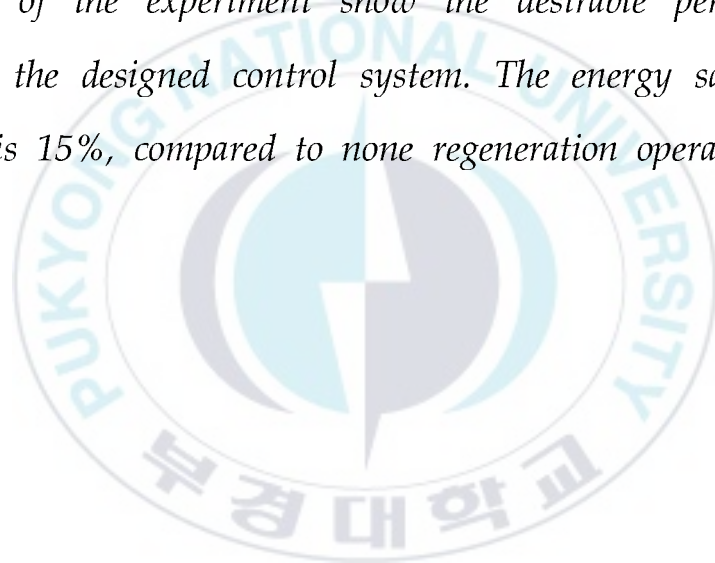
Abstract

A cylinder control system of the conventional construction machine has been controlled by hydraulic spool valves. This system is low-cost but system efficiency is not high. Recently, to improve this, all valves are controlled electronically and independently. It is called IMVT(Independent Metering Valve Technology).

The purpose of the study is to find proper IMV pressure control method for excavator and to validate excavator's bucket regeneration energy effect by controlling the IMV system.

In this paper, we mathematically describe the bucket system of excavator first. And then, based on these results, we design the control system which is divided into two operations(none regeneration or regeneration).

The results of the experiment show the desirable performance and usefulness of the designed control system. The energy saving effect of regeneration is 15%, compared to none regeneration operation.



Nomenclature

P	:	압력[MPa]
A	:	실린더 면적[m ²]
F	:	힘[N]
F_a	:	엑츠크에이터 a 면적에 가해지는 힘[N]
F_b	:	엑츠크에이터 b 면적에 가해지는 힘[N]
P_a	:	엑츠크에이터 a 면적의 압력[MPa]
P_b	:	엑츠크에이터 b 면적의 압력[MPa]
P_p	:	펌프의 토출 압력[MPa]
A_1	:	오리피스 입구의 면적[m ²]
A_2	:	오리피스 출구의 면적[m ²]
Q	:	유량[lpm]
a	:	실린더 챔버 a
b	:	실린더 챔버 b
v_1	:	오리피스 입구의 유속[m/s]
v_2	:	오리피스 출구의 유속[m/s]
ρ	:	유체의 밀도[kg/m ³]
g	:	중력가속도[m/s ²]

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경

최근 환경 문제와 화석 연료의 고갈로 인해 내연기관의 연비는 건설기계에도 있어서도 중요한 문제가 되었다. 높은 힘을 요구하는 건설기계의 특성상 힘의 밀도가 높은 유압 시스템이 주로 사용되는데 이 시스템은 저가로 구성 할 수 있는 장점에 반해 시스템의 효율이 낮다. 그렇기 때문에 유압 시스템의 효율을 개선하는 시도가 건설기계 분야에서 활발하게 진행되고 있다.

근래에 들어 전자식 밸브의 성능이 탁월하게 개선되어 감에 따라 기존의 건설기계의 유압 시스템에서 사용되는 기계식 유압 스톱 밸브를 제거하고 전자식 밸브로 대체하는 시도가 많이 진행 되고 있다. 앞서서 Bu 와 Yao가 전기식 밸브로 구성된 4 방향 IMV(Independent Metering Valve) 시스템을 제안하였고¹⁾ 여러 연구자들의 시도로 기존의 유압식 스톱 밸브가 달성하지 못했던 밸브의 독립성을 확보할 수 있게 되었다. 이러한 전자식 밸브가 적용된 독립적인 밸브 시스템을 이른바 IMV 시스템이라 한다.

IMV 시스템은 전자식 밸브를 각각 독립적으로 제어함으로 밸브가 부하에 능동적으로 대응 할 수 있기에 기존의 유압식 스톱 밸브를

이용한 시스템보다 그 효율성이 뛰어난 것으로 보고되고 있다.²⁾

이러한 장점들로 인해 Caterpilla, John Deear 등 건설기계 분야의 여러 업체에서 이 시스템을 적용 또는 시도하고 있으나³⁾ 단순 동작을 반복하는 실린더가 사용되는 시스템에 한정되고 있다.

건설기계에서 그 용도와 시장이 가장 큰 굴삭기에 있어서도 IMV 시스템을 적용하려는 많은 시도가 일어나고 있지만 굴삭기 동작의 특성을 반영한 IMV 컨트롤 시스템을 구축 하는 것은 쉽지 않은 문제이다.

1.2 연구의 목적

본 연구의 가장 큰 목적은 굴삭기에 IMV를 적용함에 있어서 적절한 제어시스템을 찾고자 함이며 아울러 굴삭기의 특징적인 회생동작을 IMV 시스템으로 제어하여 회생에너지의 효과를 확인함에 있다.

본 연구에서는 굴삭기의 버킷 시스템의 해석을 바탕으로 IMV를 적용하기 위한 제어 시스템을 구축한다. 그리고, IMV가 적용된 시험 장치에 대해 실험을 통해 제안하는 제어 시스템의 유용성을 확인하고 버킷의 비 회생, 회생 시스템의 에너지 효율을 비교한다.

1.3 논문의 구성

본 논문은 총 5장으로 구성되어 있으며 각 장의 주요 내용은 다음과 같다.

제 1장에서는 본 연구의 배경 및 목적을 기술한다.

제 2장에서는 굴삭기의 제어시스템 구축을 위하여 시스템을 해석한다.

제 3장에서는 2장에서의 시스템 해석을 통하여 굴삭기 버켓 시스템의 IMV 제어 시스템을 구축한다.

제 4장에서는 3장에서 구축한 제어 시스템을 IMV가 설치된 시험 장치에 실험하고 그 결과를 분석한다.

제 5장에서는 본 논문에서의 총괄적 결론을 정리한다.

제 2 장 제어시스템 설계를 위한 시스템 해석

2.1 굴삭기 시스템의 개요

굴삭기는 Fig. 1-1 와 같이 크게 붐(Boom), 암(Arm), 버킷(Bucket), 주행(Travel)으로 이루어져 있다. 본 연구는 굴삭기의 모션 중 가장 빈번하게 사용되는 버킷에서 실린더가 팽창되는 동작에 한정한다.



Fig. 1-1 Excavator

기존의 유압식 스푼(Spool) 밸브로 제어되는 굴삭기의 버켓 시스템은 Fig. 1-2 과 같이 크게 펌프, 밸브, 실린더로 구성되어 있으며 조작신호에 의해 밸브의 스푼이 동작하게 되면 펌프의 유량이 실린더로 공급되어 동작하게끔 구성되어 있다.

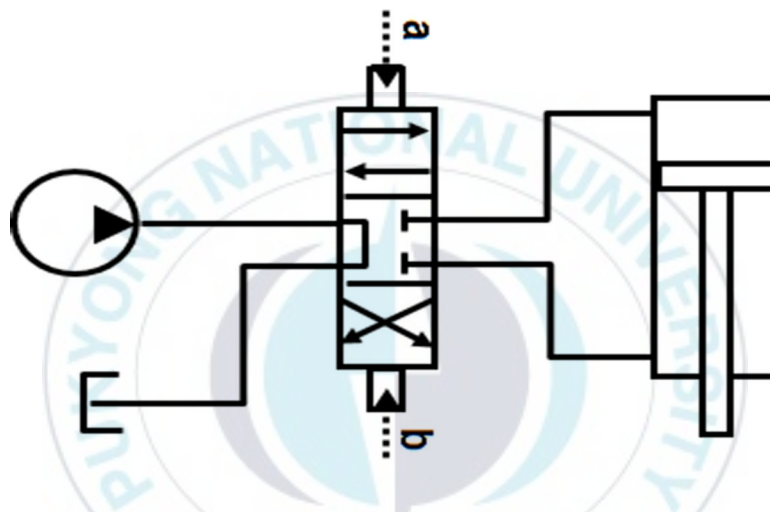


Fig. 1-2 Hydraulic system of bucket

버켓 시스템의 동작은 크게 비회생(none regeneration) 방법과 회생 방법(regeneration)으로 나눌수 있는데 전자는 Fig. 1-3와 같이 회생 회로가 없이 펌프의 유량 공급으로 실린더를 동작하는 방법이며 후자는 Fig. 1-4와 같이 회생 회로를 추가하여 버켓 자체의 자중을 이용하여 실린더를 동작하는 방법이다.

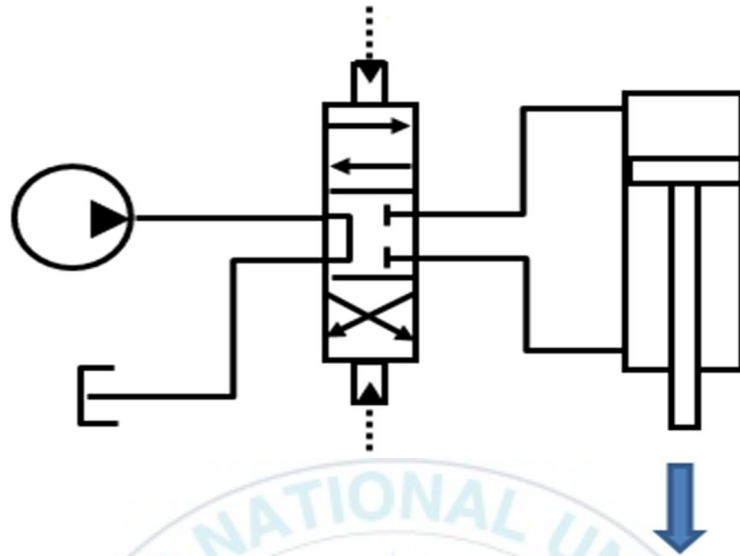


Fig. 1-3 None regeneration circuit

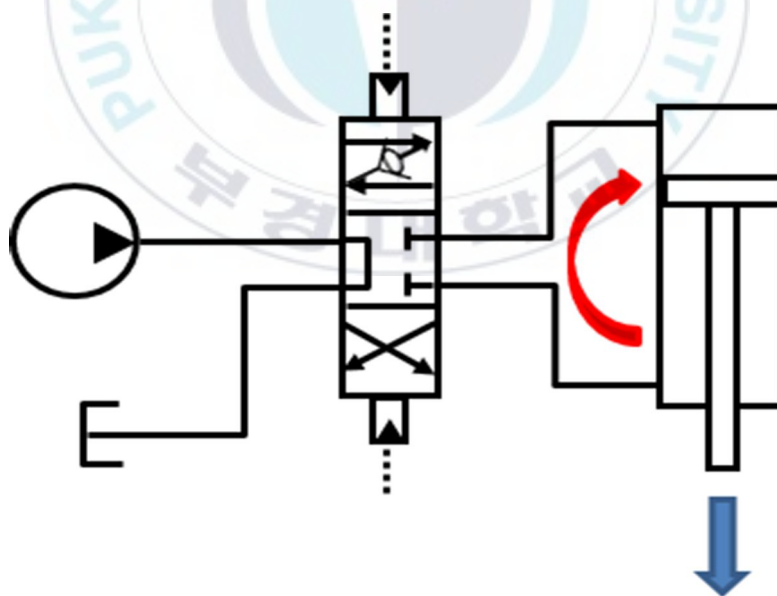


Fig. 1-4 Regeneration circuit

2.2 밸브 면적의 수학적 기술

1장에서 설명했듯이 기존의 유압식 스톱 밸브를 대체하여 전자식 밸브를 사용하기 위해서는 밸브의 면적을 제어하는 것이 가장 중요한 부분이다. 유압배관 사이에 Fig. 2-1과 같은 밸브에서 양단의 압력차로부터 그 밸브의 단면적을 오리피스 유량 방정식⁴⁾에 의해 계산 할 수가 있다.

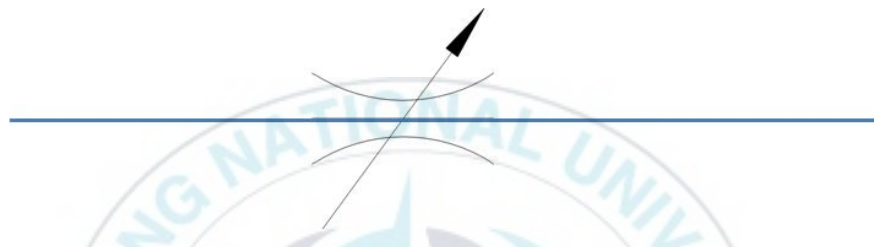


Fig. 2-1 A valve in hose

그 유도 과정은 아래와 같다. Fig. 2-2 처럼 유체가 수평관 내를 유동하는 경우 식(2-1)과 같다.

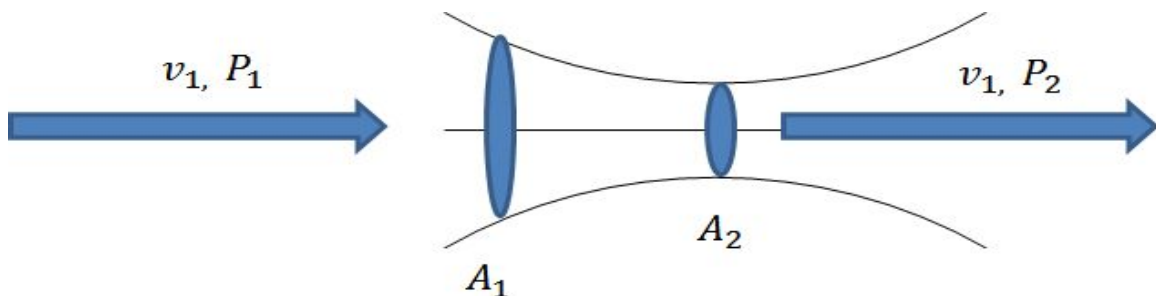


Fig. 2-2 Orifice

$$\frac{v_1}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = \frac{v_2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} = \text{constant} \quad (2-1)$$

식(2-1)을 속도에 관해 전개 하면 식(2-2)와 같다.

$$v_2^2 - v_1^2 = \frac{2}{\rho}(P_1 - P_2) \quad (2-2)$$

이때 입력되는 v_1 을 0라 하면 오리피스의 압력차에 의해 생성 되는 속도 v_2 는 식(2-3)과 같다.

$$v_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_2)} \quad (2-3)$$

식 (2-3)을 연속방정식(2-4)에 대입하게 되면

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2-4)$$

식(2-5)로 표현되는 유량을 구할 수 있다.

$$Q = C A_2 \sqrt{(P_1 - P_2)} \quad (2-5)$$

식(2-5)를 면적 A_2 에 관해 일반식으로 정리하면 식(2-6)으로 정리 할 수 있다.

$$A_2 = \frac{Q}{C \sqrt{(P_1 - P_2)}} \quad (2-6)$$

2.2 IMV 버킷 시스템의 수학적 해석

본 연구에서 고려하고 있는 제어 목표는 실린더의 압력이고 그에 따른 제어 대상은 Fig.2-3에 나타난 것 같이 전자밸브와 펌프이다. IMV 시스템의 목적에 맞게 전자밸브와 펌프를 제어하기 위하여 펌프 출구단과 실린더 양쪽 챔버에 압력센서를 설치하였다.

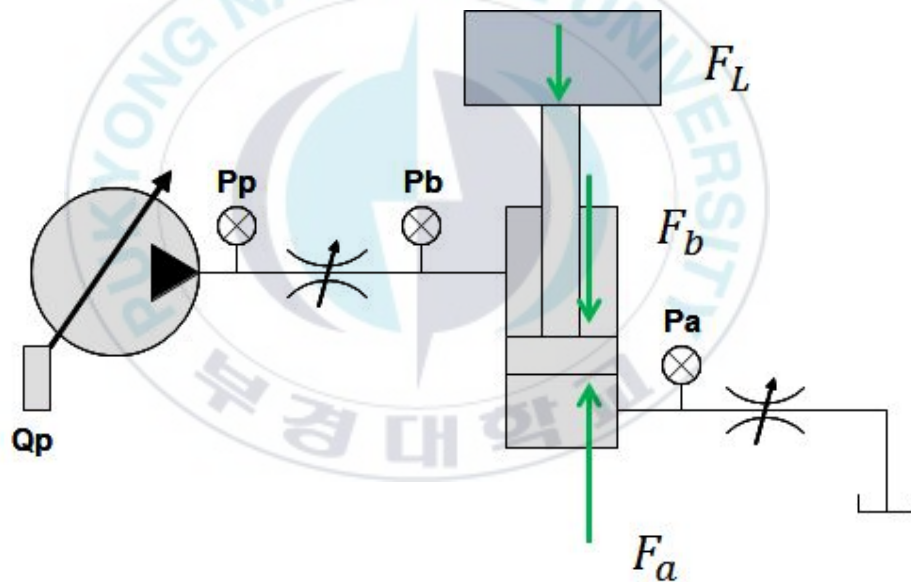


Fig. 2-3 Hydraulic bucket system

제어 시스템을 구축하기 위한 시스템 해석은 다음과 같다. 실린더에 부하 F_L 이 작용하고 있을 때 실린더 챔버 a에 미치는 힘은 (2-7)식과 같

다.

$$F_a = F_b + F_L \quad (2-7)$$

식(2-7)를 압력과 면적 관계식으로 풀어서 쓰면 식(2-8)과 같다.

$$P_a A_a = P_b \times A_b + F_L \quad (2-8)$$

실린더 챔버 a의 압력에 관해서 전개하면 식(2-9)이 되고

$$P_a = P_b \times \frac{A_b}{A_a} + \frac{F_L}{A_a} \quad (2-9)$$

식(2-9)를 실린더 챔버 a에 가해지는 부하압력에 관한 식으로 이항하게 되면 식(2-10)과 같다.

$$\frac{F_L}{A_a} = P_a - \frac{P_b}{R} \quad (2-10)$$

여기서, $R = \frac{A_b}{A_a}$ 이다.

이때 $\frac{F_L}{A_a}$ 를 dP_L 이라 두면 식(2-11)과 같다.

$$dP_L = P_a - \frac{P_b}{R} \quad (2-11)$$

식(2-11)에 의하여 P_b , P_a 의 관한 식으로 식(2-12) 과 같이 전개를 할 수 있다.

$$P_b = R(P_a - dP_L) \quad (2-12)$$

$$P_a = dP_L + \frac{P_b}{R}$$

식(2-12)에서 P_a 의 값은 전자밸브가 만들어 내는 압력 손실값 P_{a_c} 로 한정 짓게 되면 식(2-12)과 같이 실린더 챔버 a에 하중되는 부하압력 dP_L 에 따라 생성되어야 할 목표 압력 P_{b_r} , P_{a_r} 을 식(2-13)과 같이 계산할 수가 있다.

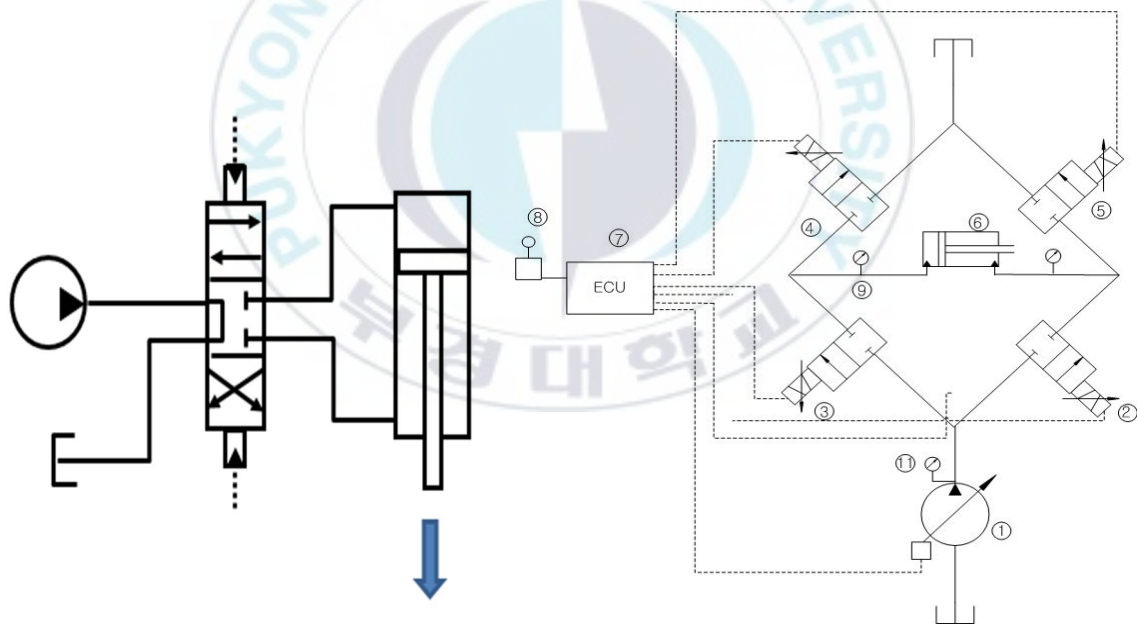
$$P_{b_r} = R(P_{a_c} - dP_L) \quad (2-13)$$

$$P_{a_r} = dP_L + \frac{P_{b_r}}{R}$$

제 3 장 제어 시스템의 설계

3.1 비 회생 회로의 제어 시스템 구성 및 동작

Fig. 3-1의 (a)는 앞서서 설명한 굴삭기 버킷의 동작에서 비 회생 동작에 대한 기존의 유압식 스폴 밸브 시스템이다. Fig.3-1의 (b)는 IMV로 구성된 유압시스템이다. 기존의 스폴 타입 유압시스템과 달리 4개의 전자식 밸브(2,3,4,5)가 회로에 추가되고 실린더(6)에 유량을 공급하는 펌프(1)와 각 밸브와 펌프를 제어하는 컨트롤러(7), 레버(8)로 구성된다.



(a) Hydraulic spool valve system

(b) IMV system

Fig. 3-1 None regeneration bucket system circuit

동작은 조작자가 레버(8)를 동작하게 되면 컨트롤러(7)에서 전자밸브(3), (5)와 펌프(1)에 지령을 보내어 실린더가 확장된다.

3.2 비 회생 회로의 제어 알고리즘

Fig.3-2는 IMV가 적용된 버켓 제어시스템의 비 회생 회로의 제어 알고리즘이다. 전체 블록의 구성은 크게 압력계산과 유량 계산, 밸브 면적 계산, 전류값 환산으로 구분된다.

압력계산에서는 레버 입력이 들어오게 되면 Look up Table1에 따라 레버 입력에 따른 전자밸브가 만들어 내는 초기 압력(P_{a_c})이 결정된다. 이는 밸브가 기본적으로 생성하는 압력차로서 밸브 제조사에서 그 값을 제공하고 있다. 이 값을 근거로 Look up Table1을 만든다. 그 값에 실린더 양단 압력센서를 통해 계산된 챔버 a 의 부하 압력(dP_L)을 빼고 실린더 면적비(R)를 곱해주게 되면 어떤 부하에 대해서 생성되어야 할 챔버 b 의 필요 압력(P_{b_r})이 계산되게 된다. 필요압력 P_{a_r} 은 계산 된 P_{b_r} 압력 값에 실린더 면적비(R)를 나누어 주고 부하 압력(dP_L)을 더해 주어 도출된다.

유량계산은 레버 입력에 따라 요구 되는 유량(Q_r)은 Look up Table2에 따라 결정된다. 요구되는 유량(Q_r)은 실린더의 속도 명령치인데 그 값은 정해져 있기 때문에 테이블화를 할 수가 있다. 하지만, 펌프의 사양은 한정되어 있기 때문에 요구한 대로 유량을 토출해 줄 수 없다. 그렇기 때문에 펌프의 사양 내로 유량을 제한 시켜줄 필요가 있다. 이를 위해 펌프의 요구 유량(Q_r)에 실제 펌프의 토출 압력을 계측하고 곱하

여 필요한 파워를 계산한다($Q_r \cdot P_s$). 이를 펌프의 허용 파워($Q_p \cdot P_p$)로 제한하여 최종 유량을 계산해 낸다. 계산 된 최종 유량은 밸브의 면적 계산에 이용되고 또한 Look up Table4를 거쳐 펌프의 전류값으로 환산되어 출력된다.

밸브 면적 계산은 앞서서 2장의 밸브 면적의 물리적 해석에 따라 오리피스 유량 방정식에 지배를 받게 됨으로 계산된 요구 압력(P_{a_r}, P_{b_r})과 요구 유량(Q_r)으로 면적 A 를 계산 할 수가 있다. 오리 피스 유량계수(C) 값은 실험값으로 이미 알고 있는 값이다.

전류값 계산은 계산된 면적을 열기위해 전자밸브에 인가될 전류값을 환산하는 과정이다. 이는 실험값으로 테이블화 할 수 있으며 Look up Table4에 수치화되어 있다. 이로 인해 환산된 계산값이 mA 값으로 출력되어 밸브로 전달되게 된다.

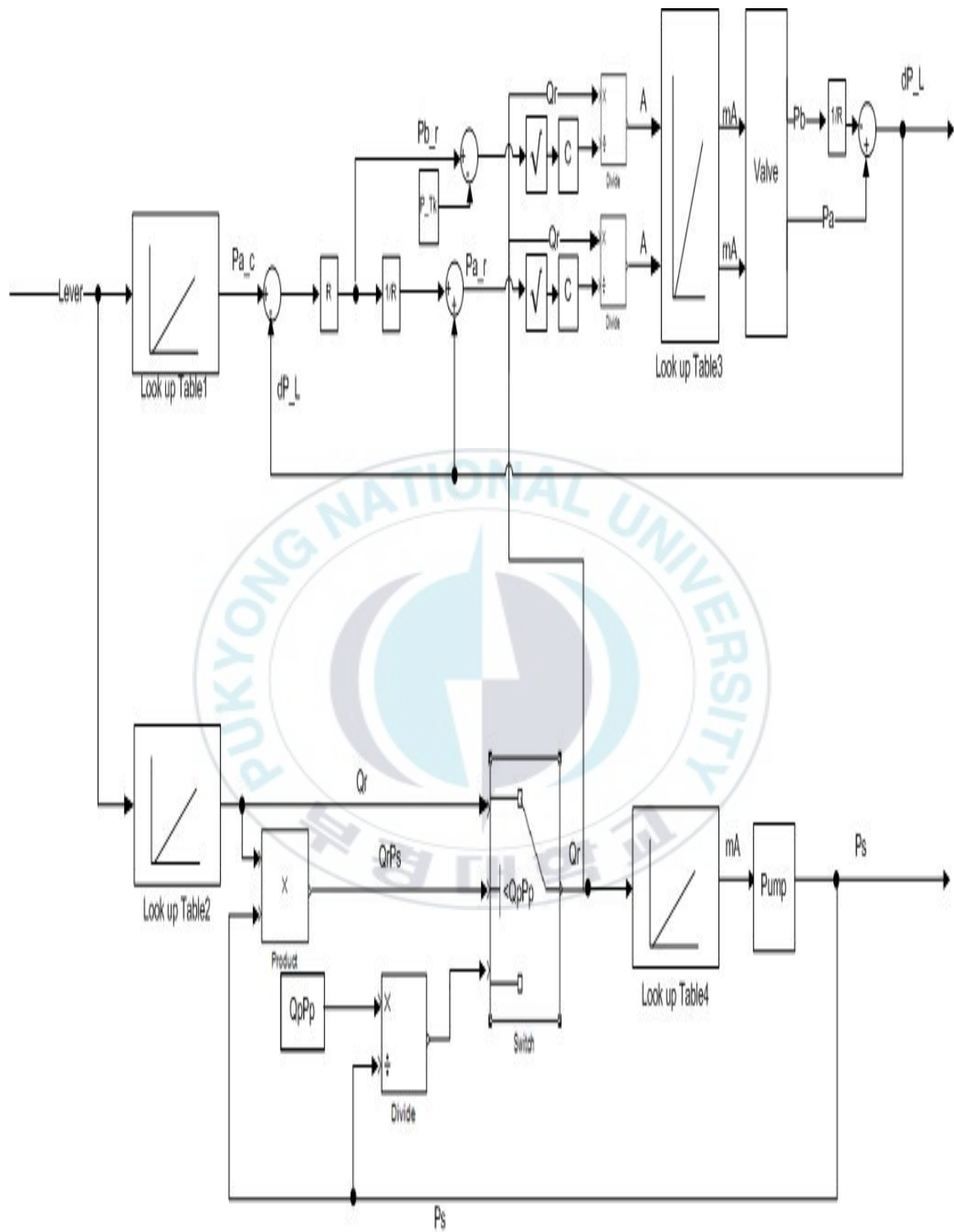
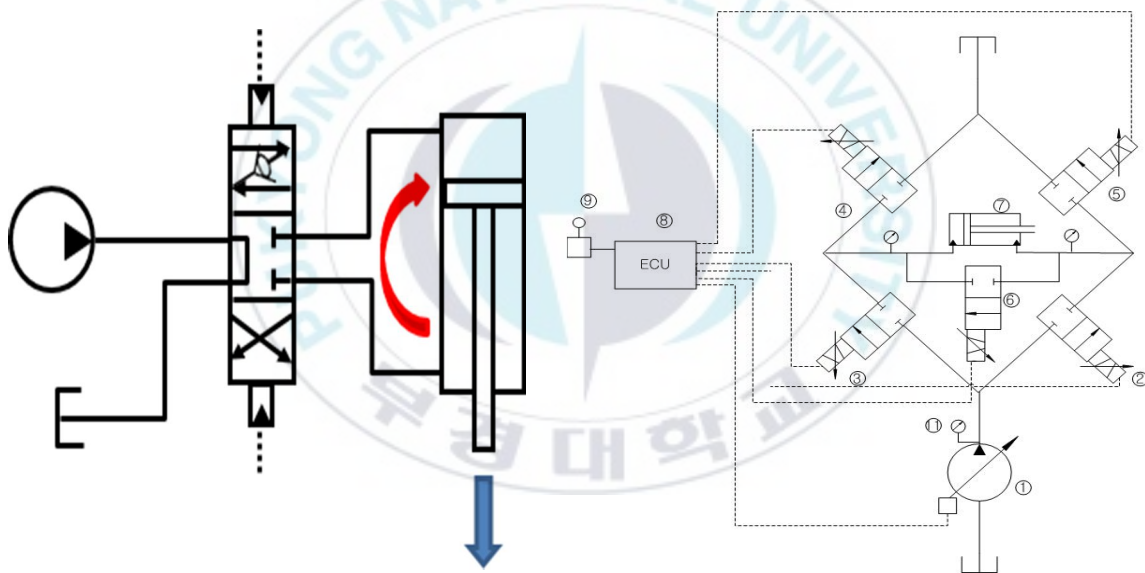


Fig. 3-2 Control block diagram of none regeneration system

3.3 회생 회로의 제어 시스템 구성 및 동작

Fig. 3-3의 (a)는 앞서서 설명한 회생 동작의 스톱 타입 유압시스템이다. Fig.3-3의 (b)는 IMV로 구성된 유압 시스템이다. Fig.3-3의 (a)의 기존의 스톱 타입 유압시스템과 달리 5개의 전자식 밸브②,③,④,⑤,⑥가 회로에 추가되고, 여기서 밸브⑥은 회생을 위해 추가된 밸브이다. 실린더⑦에 유량을 공급하는 펌프①와 각 밸브와 펌프를 제어하는 컨트롤러⑧, 레버⑨로 구성된다.



(a) Hydraulic spool valve system

(b) IMV system

Fig. 3-1 Regeneration bucket system circuit

동작은 조작자가 레버⑨를 동작하게 되면 컨트롤러⑧에서 전자밸브③, ⑤가 동작하고 실린더 압력차에 따라 회생밸브⑥가 동작하여 펌프①의 유량이 실린더로 공급되어 실린더가 확장(Expansion)된다.

3.4 회생 회로의 제어 알고리즘

Fig. 3-2는 회생 동작의 제어 알고리즘이다. 비 회생 동작의 제어 알고리즘과 마찬가지로 전체 블록의 구성은 크게 압력계산과 유량 계산, 밸브 면적 계산, 전류값 환산으로 구분된다.

모든 계산 방법은 동일하나 회생 밸브의 면적을 계산하기 위해 밸브 면적 계산 부분에 Fig. 3-2의  블록이 추가되었다. 회생 밸브의 압력차는 실린더의 압력차에 의해 생성되고 이로 인해 유량이 회생할 수 있다. 그러므로 밸브 면적 계산에서 사용되는 압력차는 앞서서 계산된 요구압력(P_{a_r} , P_{b_r})이 사용된다.

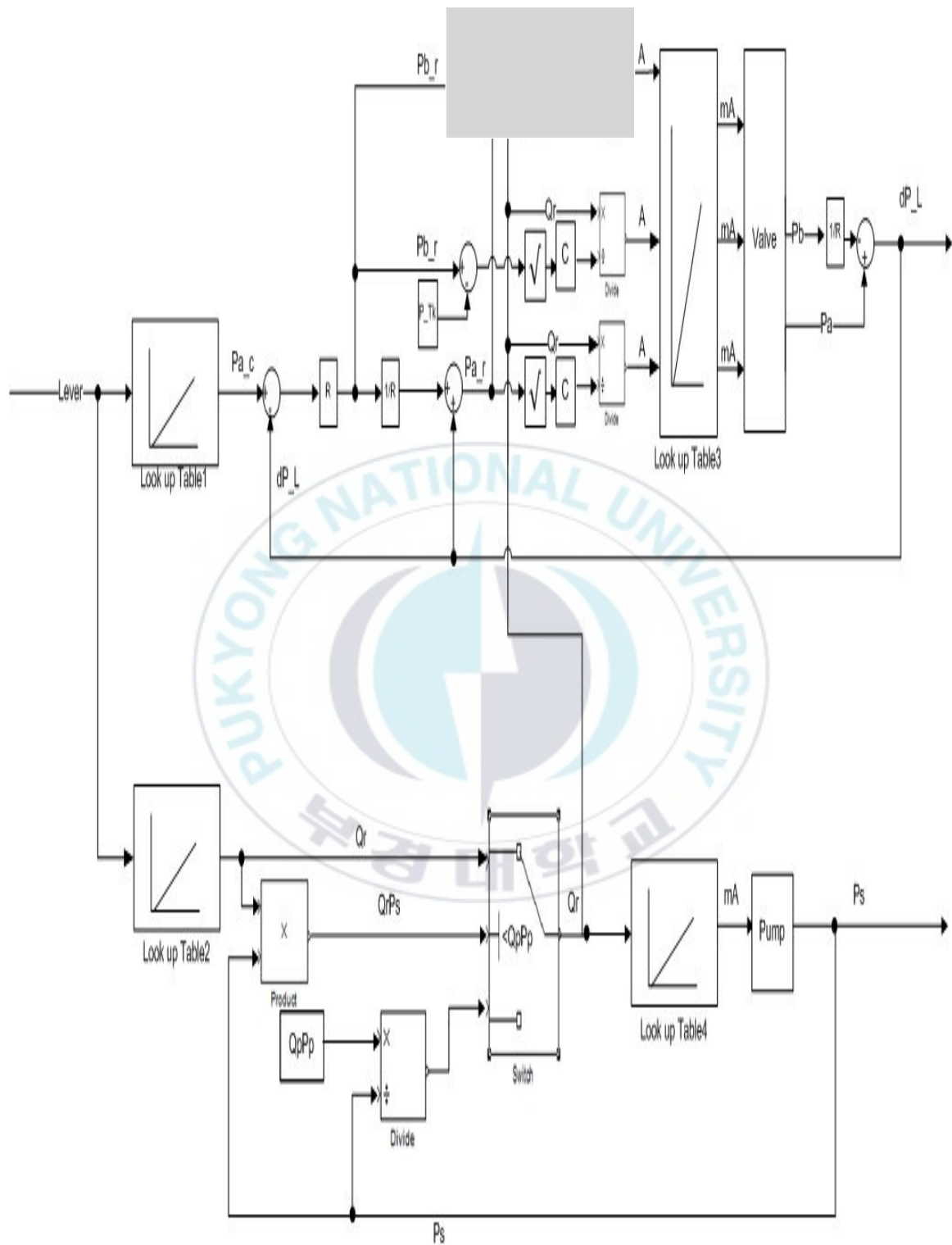


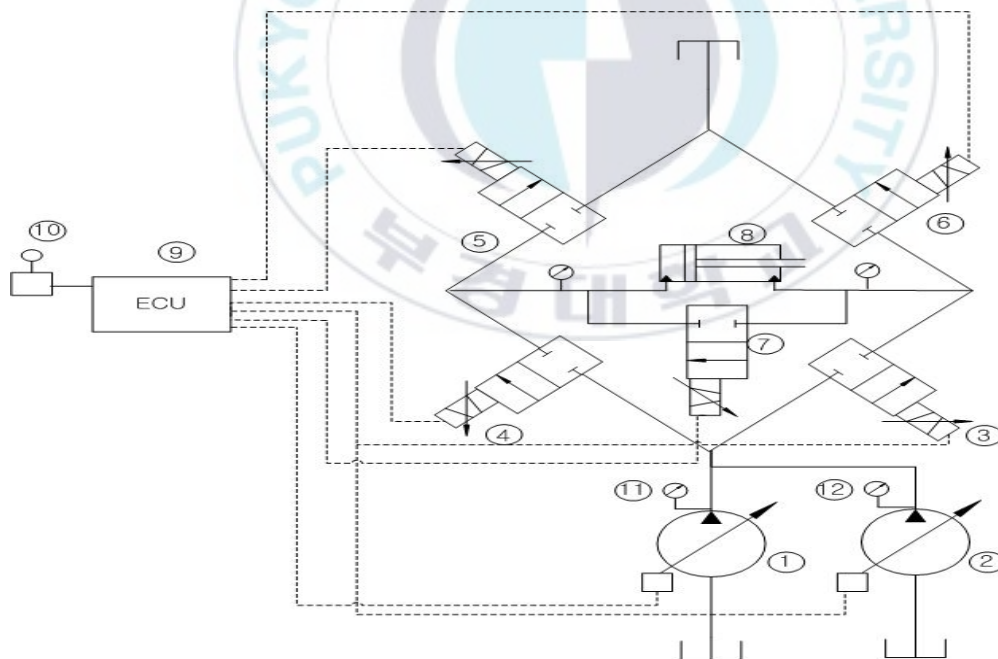
Fig. 3-2 Control block diagram of regeneration system

제 4 장 실험 및 결과

4.1 실험 장치 구성 및 동작

시스템의 수학적 모델링에 따라 제어 시스템을 설계하였고 이를 시험하기 위하여 아래와 같은 구성으로 준비하였다.

실험 장치의 구성은 Fig.4-1과 같다. 실린더에⑧에 유량을 공급하는 펌프①②와 5개의 전자밸브③④⑤⑥⑦ 각 컴포넌트들을 제어하는 컨트롤러⑨, 레버⑩ 압력센서⑪⑫로 구성된다.



- ①②: 펌프 ③④⑤⑥⑦: 비례전자밸브 ⑧: 실린더
⑨: 컨트롤러 ⑩: 레버 ⑪⑫: 압력센서

Fig. 4-1 Test bench

비 회생 동작은 조작자가 레버⑩를 동작하게 되면 컨트롤러⑨에서 전자식 밸브④⑥와 펌프①②에 지령을 보내어 펌프가 유량을 실린더의 챔버 a 로 공급하여 실린더가 확장된다. 이때 회생밸브⑦는 동작하지 않는다.

회생 동작은 조작자가 레버⑩를 동작하게 되면 컨트롤러⑨에서 전자식 밸브④⑥와 펌프①,②에 지령을 보내어 펌프가 유량을 실린더의 챔버 a 로 공급되고 실린더의 챔버 b의 유량은 회생밸브 ⑦가 동작하여 챔버 a 로 공급된다.

실험 방법은 구성된 실험 장치에서 비회생 동작과 회생동작 각각에 레버입력을 직접 가하고 그에 따른 필요압력 P_{b_r} , P_{a_r} 과 실제 압력값 P_b , P_a 를 비교하였다.

레버의 입력에 따라서 설계된 제어 시스템에 의하여 펌프의 유량 Q_r 과 목표압력 P_{b_r} , P_{a_r} 가 계산되고 그에 맞는 전자밸브의 면적 A 값이 계산된다. 그리고 Look up Table3,4에 따라서 각각 펌프와 밸브의 전류값이 출력되게 된다. 출력된 전류값에 따라 밸브가 열리고 펌프가 유량을 토출하게 되면 실린더가 동작하여 제어목표인 P_{b_r} , P_{a_r} 을 만들어 낸다.

4.2 비 회생 시스템의 실험 결과

Fig. 4-2는 비 회생 시스템에서의 실험 결과이다. Fig. 4-2의 (a)는 레버 입력, (b)는 실린더 a 챔버의 실제 압력 P_a (점선)와 지령치 P_{a_r} (실선)의 비교 데이터, (c)는 실린더 b 챔버의 실제 압력 P_b (점선)와 지령치 P_{b_r} (실선)의 비교 데이터, (d)는 펌프①,②의 유량, (e)는 펌프①,②의 압력이다.

Fig. 4-2의 (a) 와 같이 레버입력을 가할 경우, 버킷 동작 초기에 버킷 중량에 따른 갑작스런 압력 상승이 Fig.4-2의 (b)와(c)의 1.2 ~ 1.6 초 와 같이 발생된다. 이로 인해 지령치 P_{b_r} , P_{a_r} 와 실제 압력 P_b , P_a 의 오차가 발생하지만 현재 시스템의 자연스러운 과도 특성이다. 이후 정상 상태에서는 목표로 하는 지령치를 잘 추종하는 결과를 볼 수 있다. 이때 펌프를 통해 입력되는 유량은 Fig. 4-2의 (d) 처럼 펌프 1,2 가 모두 필요 유량 540lpm을 토출하고 있으며 그때 압력은 Fig. 4-2의 (e)와 같이 엑츄에이터 압력과 동조한다.

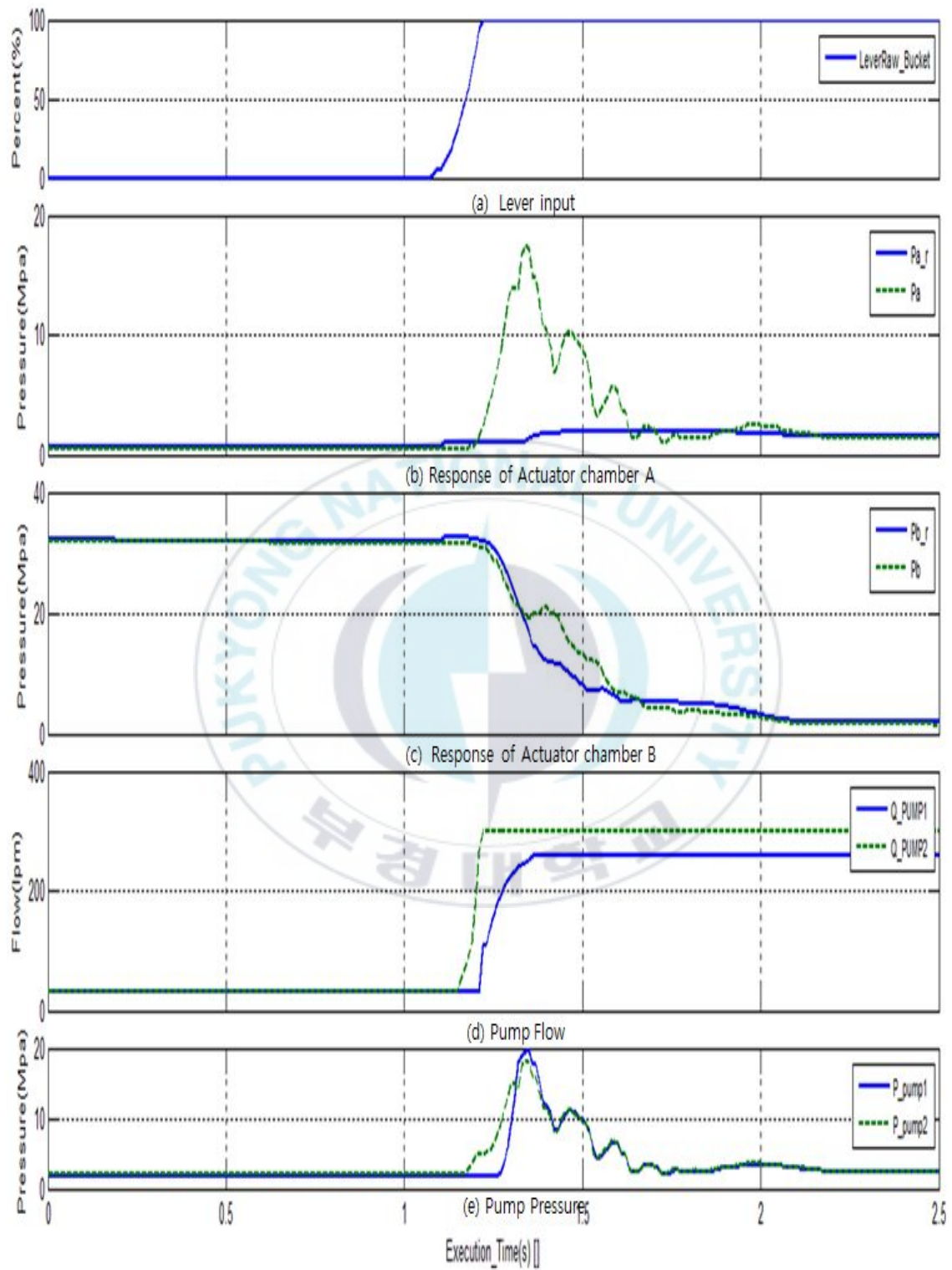


Fig. 4-2 None regeneration system test results

4.3 회생 시스템의 실험 결과

Fig. 4-3는 회생 시스템에서의 실험 결과이다. Fig. 4-2의 (a)는 레버 입력, (b)는 실린더 a 챔버의 실제 압력 P_a (점선)와 지령치 P_{a_r} (실선)의 비교 데이터, (c)는 실린더 b 챔버의 실제 압력 P_b (점선)와 지령치 P_{b_r} (실선)의 비교 데이터, (d)는 펌프①(실선),②(점선)의 유량, (e)는 펌프①(실선),②(점선)의 압력이다.

Fig. 4-3의 (a) 와 같이 레버입력을 가할 경우, 버켓 동작 초기에 버켓 중량에 따른 갑작스런 압력 상승이 Fig.4-3의 (b)와(c)의 1.2 ~ 1.6 초 와 같이 비회생 동작과 동일하게 발생된다. 이로 인해 지령치 P_{b_r} , P_{a_r} 와 실제 압력 P_b , P_a 의 오차가 발생한다. 이후 정상 상태에서 목표로 하는 지령치를 추종하는 형태를 보이나 비 회생 동작에 비해서 그 응답 특성이 좋지는 못하다. 원인은 시험 장치에 부착된 회생 밸브의 내경이 계산 보다 작은 밸브가 장착되었다. 이로 인해, 비 회생동작에 비해 압력 오차도 크고 정상상태의 응답도 좋지 못한 것으로 생각된다. 토출되는 펌프의 유량은 Fig. 4-3의 (d) 의 결과와 같이 펌프 하나만 260lpm이 토출되고 나머지 부족한 유량은 회생되는 유량으로 보충되었다. 그때 압력은 Fig. 4-3의 (e)와 같고 이는 비 회생동작에 비해 다소 높게 형성 되고 있다.

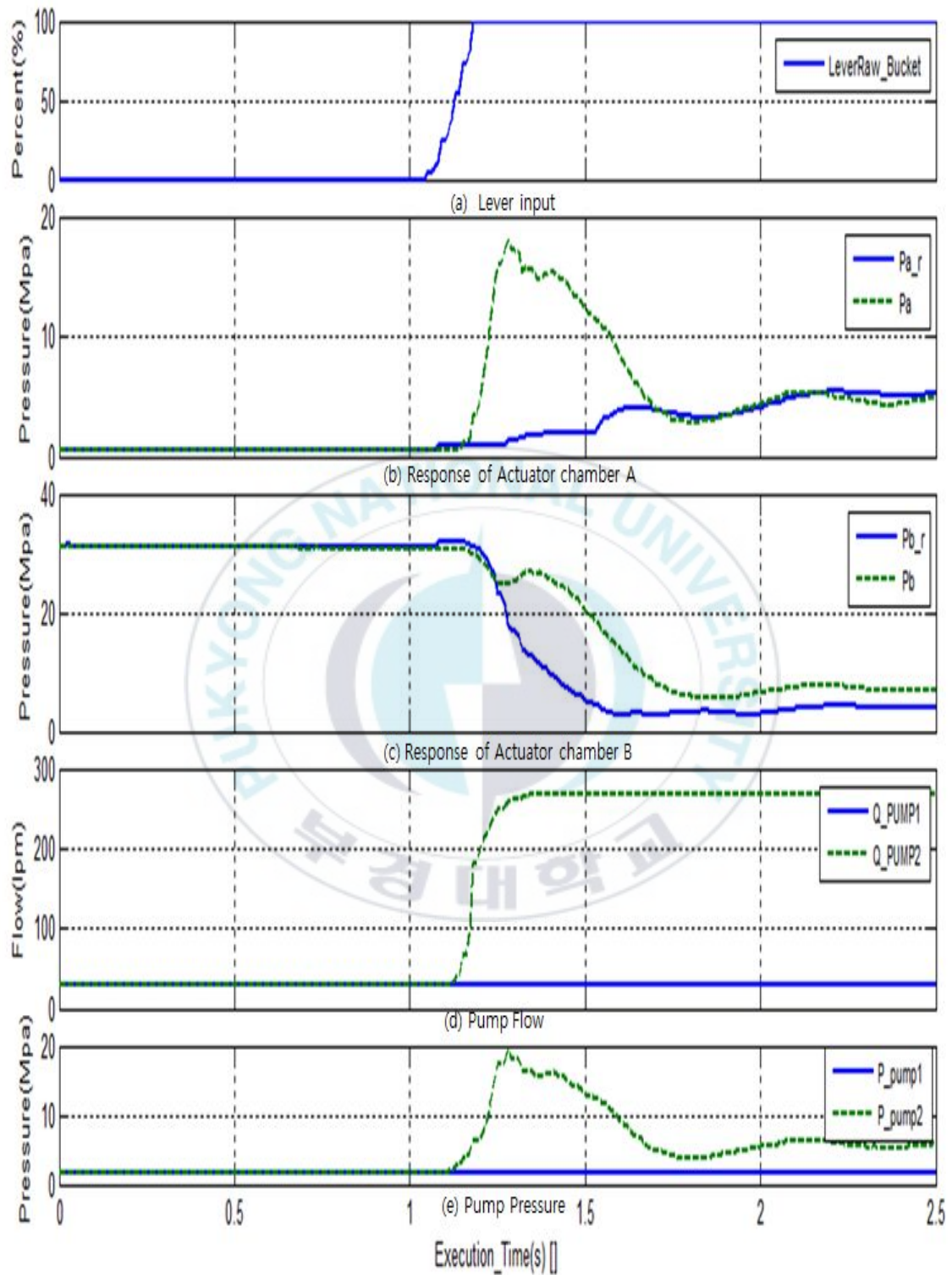


Fig. 4-3 Regeneration system test results

4.4 소비 에너지 비교 결과

좀 더 명확한 비교를 위해 추가로 에너지 분석을 위하여 두 동작의 소비 동력을 비교하여 보았다. Fig. 4-4는 비 회생 시스템의 소비 동력이고 Fig. 4-5는 회생 동작의 소비 동력이다.

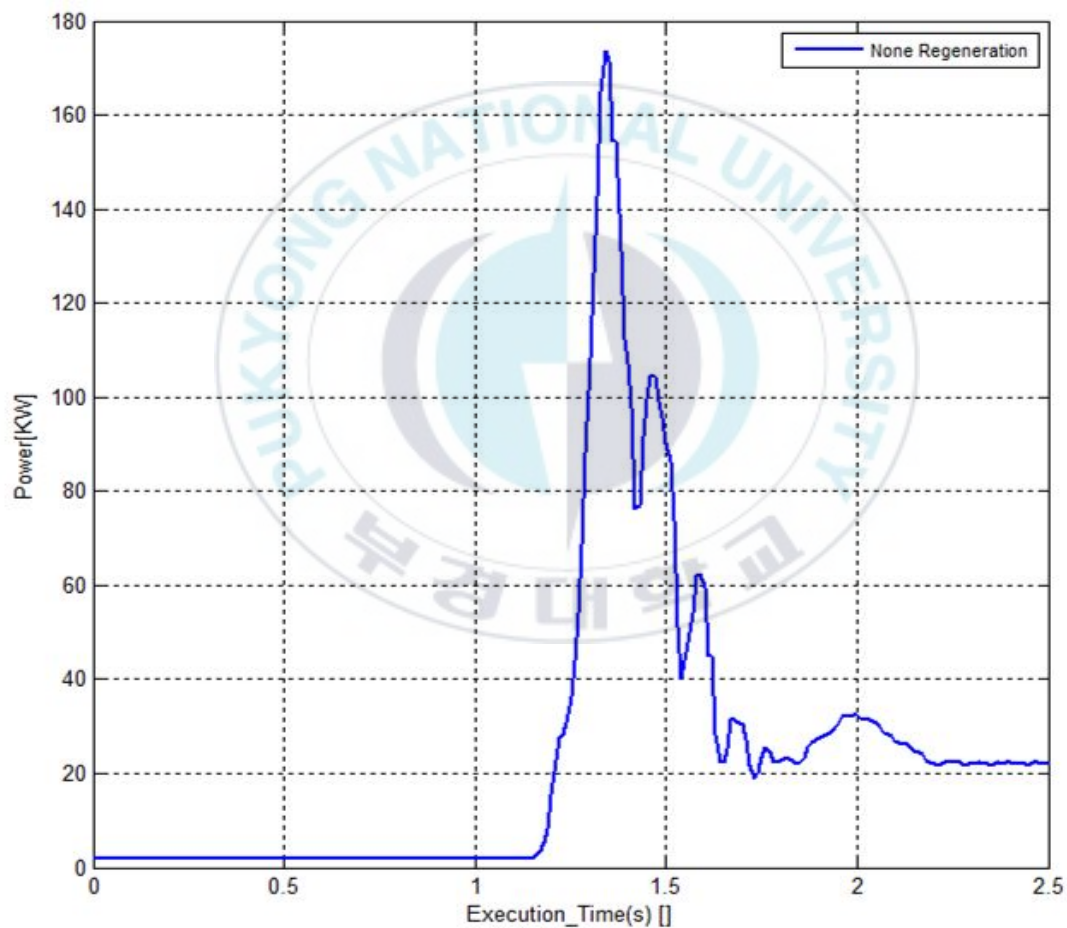


Fig. 4-4 Power data of none regeneration system

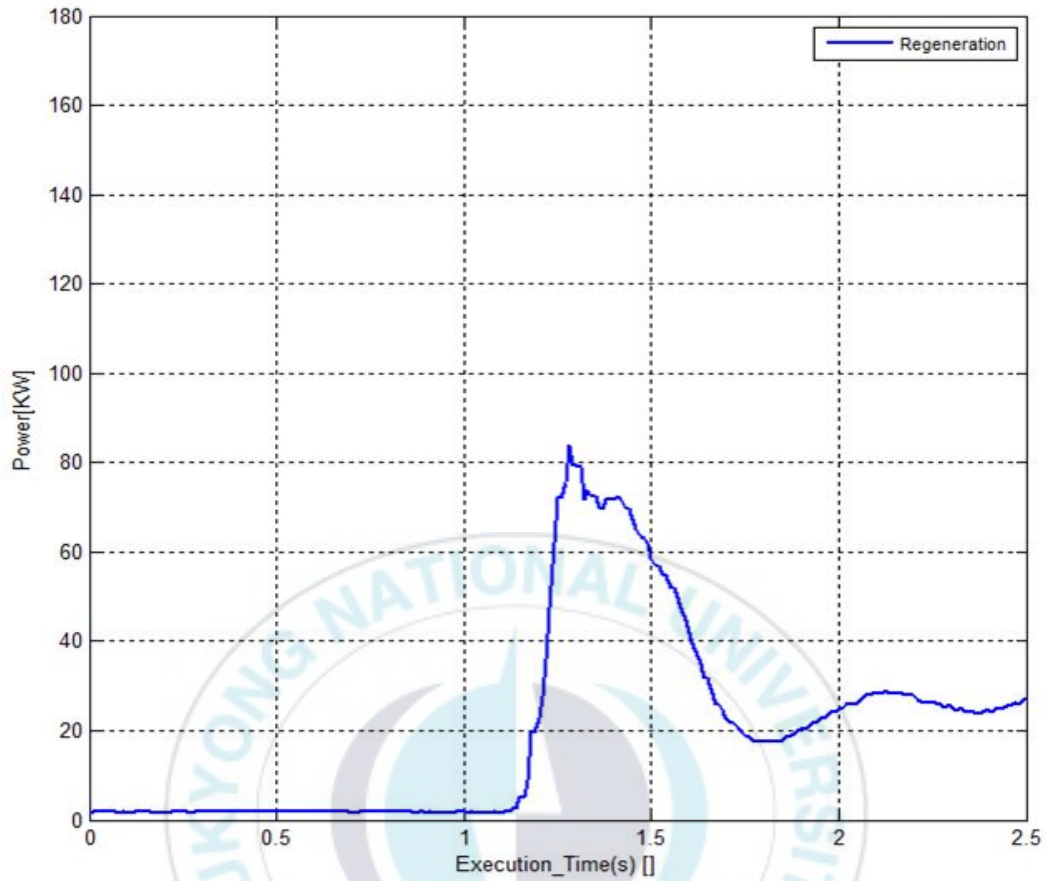


Fig. 4-5 Power data of regeneration system

비 회생 시스템에서는 펌프①,②가 모두 사용되고 초기부터 높은 일을 소모하고 있다. 그러나 회생 동작에서는 버킷의 위치에너지를 적극적으로 이용함으로 사용하는 일이 비 회생 동작에 비하여 적다. 그러나 약 1.6초 이전까지 회생 할 수 있는 위치가 지나게 되면 사용하는 일이 더 많아진다. 그러나 이미 그때는 버킷의 동작이 완료된 이후로 동작을 계속할 이유가 없다.

좀 더 명확한 비교를 위하여 동작 시간 동안 사용된 에너지를 비교해 보면 Fig. 4-6과 같고 이를 표로서 정리하면 Table 1 과 같다. 점선은 비 회생 시스템의 사용에너지이고 실선은 회생 시스템의 사용 에너지이다.

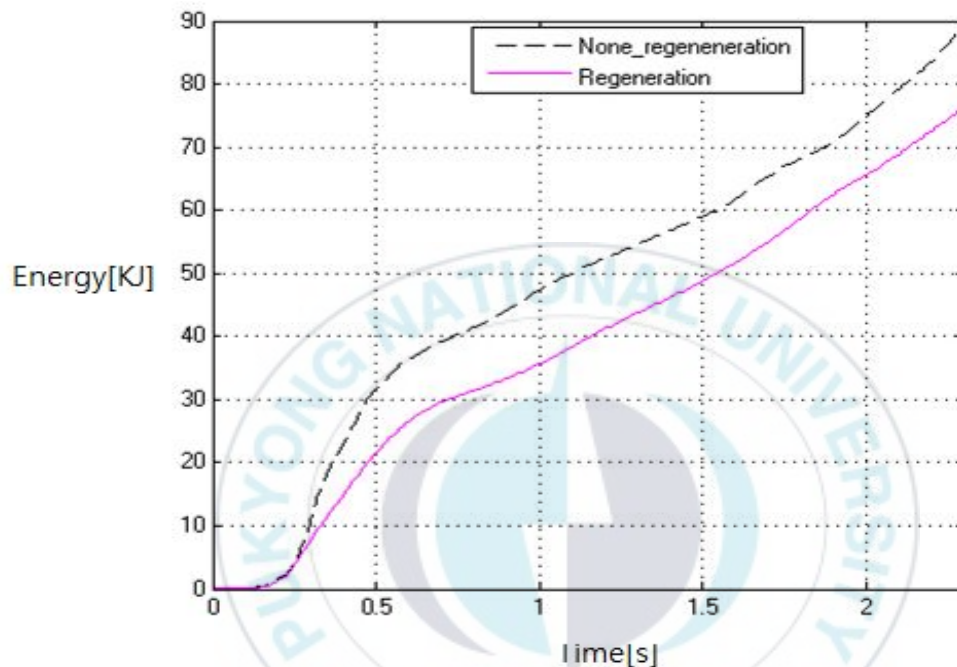


Fig. 4-6 Energy comparison data

Table 1. Energy compared table(None regeneration and regeneration)

	None Regeneration	Regeneration	Regeneration/ None Regeneration
Energy(KJ)	89.72	76.27	0.85

사용되는 에너지는 비 회생 동작 시에는 89.72KJ이 소모되었고 회생동작은 76.27KJ이 소모 되었다. 이는 회생에너지를 적극적으로 이용함이다. 전체적으로 회생동작이 비 회생동작에 비해 15%정도 에너지를 적게 소모 하고 이는 회생에너지를 이용함이 15%의 에너지 저감효과가 있는 것으로 보인다.⁵⁾



제 5 장 결 론

본 연구에서는 굴삭기의 버켓 시스템을 수학적으로 모델링하였고 이 결과를 토대로 IMV를 적용하기 위한 제어 시스템을 구축하였다. 그리고, IMV가 적용된 시험 장치에서 응답 실험하였다. 추가로 버켓의 비 회생, 회생 동작의 소비에너지를 비교함으로써 회생 동작의 에너지 절감 효과를 확인하였다. 이상의 결과들을 요약하면 아래와 같다.

i) 시스템의 수학적 모델링을 통해 구축한 제어시스템을 적용하여 IMV 버켓 시스템의 액추에이터 압력을 원활히 제어 할 수 있었다. 버켓 동작 초기에 버켓 자체의 중량으로 인한 압력상승은 있으나 정상상태에서는 비 회생 동작과 회생동작 모두 지령치를 추종하는 것을 확인할 수 있었다.

ii) 비 회생 동작에서 사용되는 펌프의 유량은 회생 동작에 비해 두 배 가량 소모되었으나 압력은 낮았다. 버켓이 하강하는 동작시간 동안의 소비동력은 회생에너지를 이용함으로써 15%의 저감효과를 보였다.

참 고 문 헌

- 1) Bu, F. and Yao, B., 2001, "Integrated Direct/indirect adaptive robust motion control of single -rod hydraulic actuator with time-varying unknown inertia" in Proc. of IEEE/ASME Int Conf on Advance Intelligent Mechatronics, pp 624-629, Italy.
- 2) Frankenfield, et al, 1993, "Developing trends in hydraulics tied to elec-tronic controls,"Control Engineering, vol. 40, no. 5, pp. 62 - 6.
- 3) Kramer, et al 1990, "Electrohydraulic valve system." United States Patent, (Re. 33,846).
- 4) 이일영, 장지성, 2008 "유공압시스템설계", 세종출판사
- 5) 정태량, 최교호, 양주호, 2015, "독립제어밸브에 의한 굴삭기 버킷 액츄에이터 압력제어 및 회생 에너지에 관한 연구", 한국 동력기계 공학회 추계학술대회 학회지, pp80