

VRCS(Valve Remote Control System)의 적용설계에 관한 연구
박창권, 김태형, 정원지 / 창원대학교

A Study on the Application Design for VRCS(Valve Remote Control System)
C. K. Park, T. H. Kim, W. J. Chung / Changwon National Univ.

Abstract

At present most mechanical design engineers use the techniques that perform shape modeling, force analysis and DMU(Digital Mok-Up). This kind of design methods shorten the time of manufacturing prototypes and have a merit that decreases development cost. But a hydraulic system has inconvenience that engineers have to modify, and complement whenever needed, because simulation-based approaches are not ubiquitous compared to the case of general mechanical parts.

This paper presents a case study of efficient application to hydraulic system for designing VRCS(Valve Remote Control System) using a Hydraulic system design and analysis software.

1. 서 론

새로운 기계나 장치를 개발할 때 시제품제작은 필수적이다. 설계를 통한 기계제작의 기원은 알 수 없지만 설계라는 작업을 통해 기계를 제작하고 이를 양산하는 기계산업이 발생하고부터는 초기 설계자의 의도대로 기계가 동작하는가를 테스트할 수 있는 시제품 제작방식이 필연적으로 도입되었다. 이런 방식은 기계제품의 구동메카니즘에서부터 역학적부분의 계산까지 완벽히 설계해야하는 부담과 시제품 제작에 드는 막대한 비용을 감수해야 하는 애로가 항상 뒤따랐다. 이로인해 시제품제작을 통한 설계방식에 한계를 느끼게 되었다. 컴퓨터의 발전과 더불어 엔지니어들이 기존의 설계방식을 이용하여 Software Package로 만들어 냄으로써 기계설계산업은 획기적인 전환기를 맞이하였다. 즉 시제품을 만들기까지의 설계과정을 컴퓨터로 수행

하여 최초 시제품의 오차가 거의 없거나 아예 시제품 자체가 필요 없도록 설계할 수 있게 된 것이다. 현재 CAD Software는 기초적인 형상 modelling에서 응력계산등의 역학해석 및 Digital Mok-up까지 가능하다. 이처럼 시제품 제작에 필요한 시간과 비용을 단축시키고 시물레이션을 통한 평가와 예측을 통해 더욱더 복잡한 기계의 설계까지 수월하고 체계적으로 할 수 있게 되었다. 국내에서도 이미 이러한 CAD Software 들을 도입하여 실제 설계에 적용하고 있다. 그러나 형상과 동작에 관여하는 Solid Modelling 및 Simulation은 CAD Software의 활용이 보편화 되어 있는 반면 유압장치 부분에서는 시물레이션을 통한 설계³가 일반화 되어 있지 않기 때문에 시제품 제작과 그 수정, 보완에 많은 시간과 비용을 소모하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 유압시스템 설계, 해석 Software(AMESim³)을 이용하여 (주)BY에서 개발한 밸브개폐의 자동화에 사용되는 VRCS를 설계함으로써 유압시스템에 있어서의 효율적인 CAD software의 적용순서를 제시하고 Simulation된 값과 실제 시제품의 성능테스트에서 나온 Data와의 비교를 통해 유압시스템에서의 Simulation-based Design이 얼마나 유효한지를 알아보려고 한다.

2. VRCS의 개념

VRCS(Valve Remote Control System:이하 VRCS)은 밸브를 원격으로 조작하는 장치이다. 기존의 배관계의 경우 배관계내의 밸브류를 수동으로 조작(개폐 및 변위조절)함으로써 중앙조정실에서 실제 밸브위치까지 통신수단으로 지시를 하달하여 밸브를 담당하는 작업자가 수동으로 조작하

는 방식으로 실시간으로 밸브의 Control이 불가능했었다. 이러한 불편함을 개선하고자 선진국에서는 꾸준히 VRCS를 연구개발하였고, 일본의 NAKAKITA사, 덴마크의 DANFOSS사, 프랑스의 AMRI 및 MacGREGOR사, 독일의 PLEIGER사 등의 유수의 시스템 엔지니어링 및 유압액츄에이터 개발, 생산업체들이 현재세계적으로 시장을 장악하고 있는 실정이다. 국내에서는 VRCS의 개발이 전무했었으나 1999년도부터 (주)BY에서 개발에 착수하여 현재 국산화의 단계에 성공하였고 개발단계에서 설계방식을 Simulation-based Design 방식을 채택하였다.

3. VRCS 동작원리

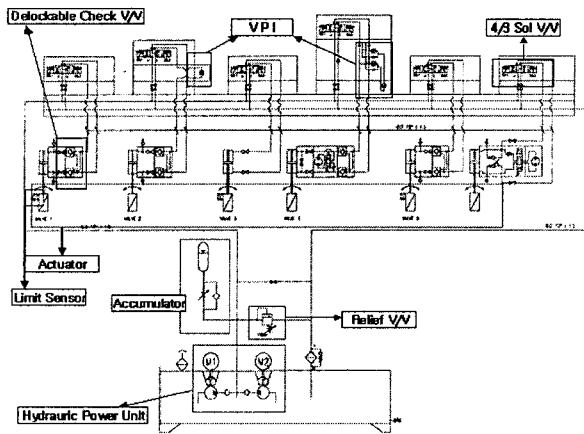


Fig. 1 전체회로도

Hydraulic actuator는 도면에서 4/3 solenoid valve를 작동시킴으로써 동작된다. Hydraulic power unit은 유압펌프(Hydraulic pump), 전기모터(Motor), 축압기(Accumulator)로 이루어져 있다. 전기모터가 동작하여 유압펌프를 구동시켜 오일탱크로부터 압유(작동압력:110bar)를 펌핑하고 이 오일의 압력은 축압기와 Relief Valve에 의해 일정하게 유지된다. 도면에서 유압펌프는 Gear Pump이며, 도면의 Hydraulic Power unit part에서 보여지는 바와 같이 직접 커플링되어 있다. 오일탱크에서 펌핑된 압유는 Check Valve를 거쳐 축압기로 흐른다. 주 유압회로(Main hydraulic circuit)내에서 작동유의 압력이 어떤값에 도달하면 유압펌프는

자동으로 무부하가 된다. (모터의 차단으로 인해) 주 유압회로의 역류는 Check Valve에 의해 방지되며 유압은 축압기에 축적된 유압유에 의해 유지된다. 이렇게 생성 유지되는 압유는 4/3 Solenoid Valve를 거쳐 Hydraulic Actuator로 전달되어 Actuator를 구동한다. (4port 3position) 4way pump closed spring center solenoid valve의 solenoid를 작동시켜 Actuator(B/F V/V) open position으로 위치시키면 압유는 P→A, B→T로 흐른다. Actuator Closed Position으로 위치시키려면 Solenoid를 작동하여 Sol Valve의 Position을 바꾸게 되고 압유는 P→B, A→T로 흐르게 된다. 도면의 Delockable Check Valve는 액츄에이터를 (어떠한 opening position에서도) 임의의 위치에서 완벽하게 B/F V/V를 유지시킬 수 있도록 해준다. 따라서 배관에서의 유압은 완전하게 유지될 수 있다. 선박용 VRCS의 경우 배관계의 압력증가(온도변화등이 원인)로 인한 배관손상 가능성에 대비하여 VRCS는 상술한 바와같이 Pilot Check Valve와 Relief Valve 결합을 이용한 즉 Relief Valve 설정압은 110bar로 설정되어 있으므로 파이프내의 유압은 온도가 높아지더라도 110bar보다 높아질 수 없다. B사의 VRCS는 6가지 Size의 액츄에이터가 있으며 이 6가지의 액츄에이터는 두가지 동작제어방식을 취하고 있다. 첫번째는 액츄에이터 끝단에 Limit Sensor를 장착하여 밸브의 Full Open, Full Closed 상태를 유지하는 방식²이다. 이 방식의 제어는 단순히 액츄에이터의 open, Closed에만 관계하므로 성능평가는 개폐시간으로 할 수 있다. 액츄에이터 피스톤이 상사점에 다다르면 Limit Switch가 signal⁴을 발생하여 도면의 4/3 Solenoid Valve의 solenoid를 작동시켜 중립위치를 유지하게 되어 Actuator의 open 또는 Closed 상태를 유지하게 된다. 두번째는 액츄에이터의 position을 제어하는 방식으로 이 경우는 회로내에 VPI(Valve Position Indicator)를 두어 압유의 유량을 제어하므로써 밸브를 임의의 위치에 고정시킬 수 있게 된다. 도면에서의 ①은 ②부분을 간략화한 그림이다. VPI는 Valve의 Position을 유량으로만 제어하며 유압에 민감하므로 VPI로 들어가는 유압회로를 미터아웃(Meter-out⁵)으로 구성한다. 이 방식의 성능평가는 Positioning 정확도, 개폐속도로 할 수 있다.

4. 적용설계 Flow 제안

VRCS를 CAD software를 적용하여 설계하기 위하여 가장 효율적인 방식을 제시하였다.

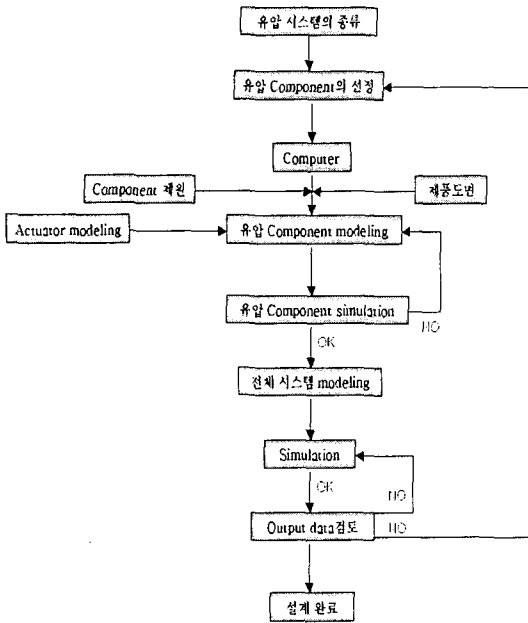


Fig.2 적용설계의 Flow Chart

1) 개발 유압 System의 정의

개발하고자 하는 System에 따라 Component들의 규격, 종류, 특징들이 달라져야 하므로 기본적으로 개발 유압 System의 용도, 용량, Actuator type등을 정의하여야 한다. 이때 실제 System의 규격을 예상하여 Subcomponent 및 Actuator의 공간확보가 가능할 것인지 검토하고 배관계의 설치가 용이한지에 대한 검토가 선행되어야 한다.

2) 유압 Component의 선정

설계도면을 바탕으로 하여 설계하고자 하는 System의 구동에 필요한 Component들을 선정한다. 이 선정작업을 설계자의 감각에 의존한 정도의 정확도면 충분하다. 이후 PC상에서 모델링하는 작업을 거쳐 시스템을 평가하게 될 것이므로 완벽한 사양을 굳이 알 필요가 없다.

3) 유압 Component Modeling

선정된 유압Component들을 modeling한다.

이 Component model들은 설계변경등에 즉시 이용될 수 있을 것이다. Flow상의 다음 과정인 Simulation을 통해Component의 필요사양값을 얻지 못했을 경우 다시 modeling하는 과정을 거쳐야 한다.

4) 유압 Component Simulation

modeling된 각 Component들을 Hydraulic power unit에 연결하여 기본적인 회로를 구성한 다음 설계도면 상에서 요구하는 여러 가지 작동조건들을 입력하여 Simulation하면 원하는 위치에서의 유량, 압력, 변위등의 출력값을 얻을 수 있다. 이 과정에서 목적값과 Simulation된 값이 일치하면 Flow상의 다음 과정인 전체 System modeling으로 넘어가고 그렇지 않을 경우 이전단계로 돌아가서 Component modeling의 입력값에 변화를 주어 다시 시도한다.

5) 전체 System Modeling

modeling된 각 Component들을 조합하여 전체 시스템을 구성하는 과정이다. 실제 제작된 시스템과 modeling된 전체 시스템은 동일하여야 하므로 설계도면을 바탕으로 완전한 회로를 구성해야 한다.

6) 전체 System Simulation

전체 System modeling을 통해 구성된 회로에 작동조건과 작동시간, 유량, 압력등의 입력 Parameter를주어 Simulation시키는 과정이다. 각 Component에서부터 회로까지 실제 제작과 똑같은 조건을 주어 시뮬레이션 했으므로 출력data들은 신뢰할 만한 값을 가진다고 볼수 있다. 이 과정을 통해 얻을 수 있는 값은 시스템 구성요소에 따라 여러 가지가 있다. 예를 들면 전체회로구동시 Actuator의 동작 시간이나 변위, Hydraulic power unit에서의 유량, 압력 그리고 회로내의 입출력압을 비교함으로써 누설되는 압력을 알아내는 회로 압분석등이 있다. 시스템 설계시에 목표로 했던 값들과 시뮬레이션 된 값을 비교하고 그 오차가 많을 경우에는 두가지 과정이 재수행 되어야 한다. 먼저 유압Component modeling과정에서의 입력 data의 정확도를 살펴본 후 전체System modeling

에서의 작동조건의 정확도를 확인해야 한다.

7) Output data 검토

전체 System Simulation 후 얻어낸 출력 data의 신뢰도를 2차적으로 검토하는 과정이다. 실제 장치로의 적용이 가능한지 판단되면 시뮬레이션된 회로를 바탕으로 적용설계를 완료한다.

이상의 Flow로 유압System을 적용설계하면 시행오차를 줄일 수 있을뿐만 아니라 각 Component들을 modeling함으로써 새로운 System 설계시 바로 적용할 수 있어 시간을 절약할 수 있을 것으로 보인다. 실제로 유압System 설계, 해석 Tool로서 설계를 하는 업체의 경우 System에 사용하는 Component들을 설계시마다 재설계작업을 수행하는데 보유하고 있는 Component model을 모두 modeling하여 다음 시스템에 적용할 수 있는 자료로 남기는 것이 본 논문이 제안하는 가장 바람직한 적용설계법이다. 이후 용량 재설계시에는 modeling된 Component들의 parameter만 수정하면 간단히 시스템변경 및 용량변경을 할 수 있을 것이다.

3. 전체 System Modeling

각 component들의 modelling 및 simulation을 완료한 상황에서 각 component들을 조합하여 전체 system을 구성한다. 실제 VRCS 전체 회로도 는 앞절에서 소개하였으며 system modelling은 다음과 같다.

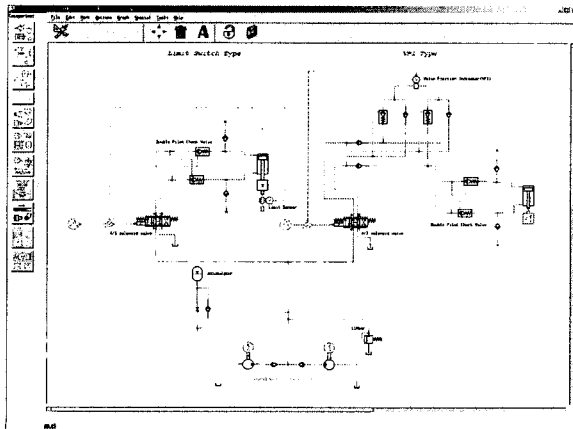


Fig.3. 전체 System Modeling을 위한 회로도

실제 system은 2가지 type의 여섯가지 액추에이터를 제어하지만 VRCS에서 동시에 구동가능한 액추에이터는 두개이므로 이 두개의 Actuator만 modelling한다. 이후 modeling된 상태에서 액추에이터의 용량만 변화시키면 나머지 네 가지 type의 modelling을 쉽게 수행할 수 있다. 특히 VPI System 부분에서 VPI에 항상 저압이 흐르도록 하는 회로가 구성되어 있다. 이는 이후 시뮬레이션을 통해 VPI 입구측이 항상 저압이 걸리고 있음을 보일 것이다.

4. 전체 System Simulation

1)VPI 유입유압에 대한 해석검토

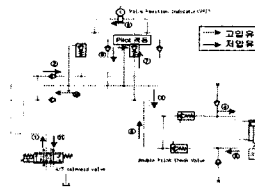


Fig.4. Positive direction에서의 VPI 유입유압

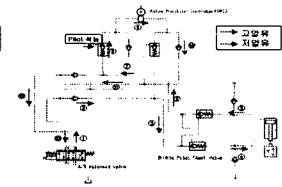


Fig.5. Negative direction에서의 VPI 유입유압

(1) 방향전환밸브(Positive position)

①에서 유입된 유량은 ②를 거쳐 ③으로 가게되는데 도중에 분류되어 Pilot check 밸브를 crack시켜 놓게 된다. ④를 통해 액추에이터로 유입된 유량은 액추에이터의 변위를 발생시키고(+)Low Chamber 쪽의 유량은 ⑤,⑥,⑦,⑧을 거쳐 ⑨Check 밸브를 통해 ⑩,⑪으로 Drain된다. 따라서 VPI쪽으로는 펌프로부터의 고압유의 유입은 없고, Drain 회로에 있는 저압유의 유량만을 감지하게 된다.

(2) 방향전환밸브 (Negative position)

①에서 유입된 유량은 ②를 거쳐 ③으로 가게되는데 도중에 분류되어 Pilot check 밸브를 crack시켜 놓게 된다. ④를 통해 액추에이터로 유입된 유량은 액추에이터의 변위를 발생시키고(-)High Chamber 쪽의 유량은 ⑤,⑥,⑦,⑧,⑨을 거쳐 ⑩Check 밸브를 통해 ⑪,⑫,⑬으로 Drain된다. 따라서 VPI쪽으로는 펌프로부터의 고압유의 유입은 없고, Drain 회로에 있는 저압유의 유량만을 감지하게 된다. Piston이 선형적으로 Positive 방향으로 늘어나도록 설정하

여 10초간 Simulation한뒤 입력측과 출력측의 압력을 산출해보면 다음과 같다.

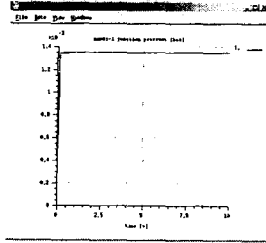


Fig.6. VPI 입구측 압력

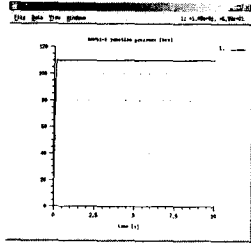


Fig.7. 실린더 입구측 압력

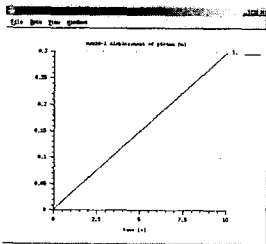


Fig.8. piston의 변위

그래프에서 보여지는 바와 같이 피스톤을 밀기 위해 실린더 입구측 회로에는 유압펌프에서 생성되어 릴리프로 조절된 110bar의 압이 거의 다 걸리게 되고 출구측 회로에는 거의 압이 생성되지 않음을 알 수 있다.

2) Actuator 단독동작시 시간 및 응답성

(1) Type1(Limit Switch Type)

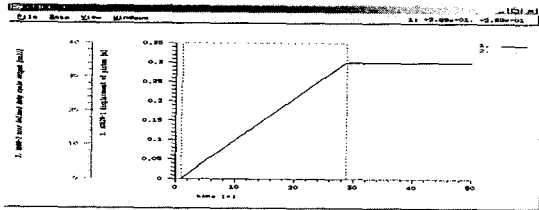


Fig.9. Limit Switch 변위 0.3m에서의 시간성 및 응답성

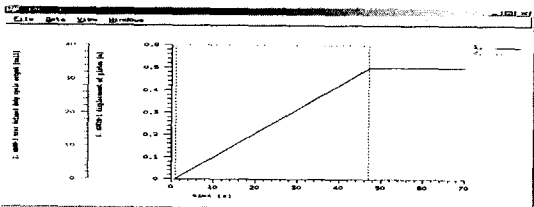


Fig.10. Limit Switch 변위 0.5m에서의 시간성 및 응답성

(2) Type2(VPI Type)

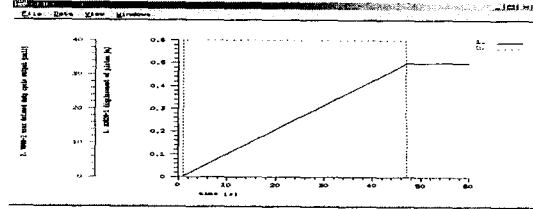


Fig.11. VPI Type stroke 0.5m에서의 시간성 및 응답성

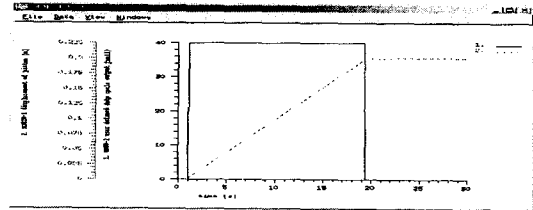


Fig.12. VPI Type stroke 0.2m에서의 시간성 및 응답성

Limit Switch Type 과 Valve Position Indicator Type 공히 VRCS시제품의 0.5m 변위 발생시 소요시간 42초, 0.3m 변위 발생시 29초, 0.2m 변위 발생시 19초 조건과 거의 동일한 결과를 보이고 있다.

3) 두개의 Actuator 동시동작

1) type1) 0.3m제어 & type2) 0.5m제어

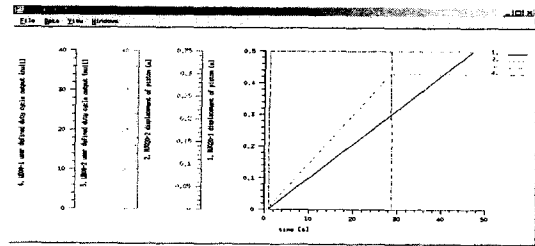


Fig.13. 동시동작2

2) type2) 0.5m제어 & type1) 0.3m제어

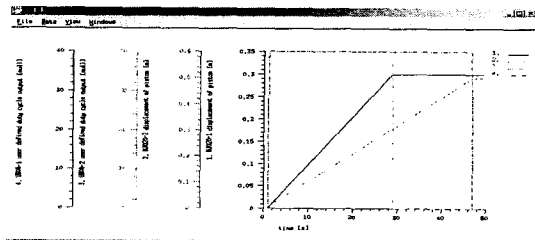


Fig.14. 동시동작1

현재 설계한 VRCS는 동시에 두 개의 밸브를 Control할수 있어야 하는데 이때 각각 하나씩 동작시켰을 경우와 시간성 및 응답성의 변화가 있어서는 안된다. 두 개의 액추에이터를 동시에 작동시켰을 경우시간성 및 응답성은 위의 출력그래프에서 알수 있듯이 개개의 액추에이터를 단독으로 작동시켰을 경우와 일치한다. 이는 펌프의 용량설계가 적절하여 두 개의 액추에이터를 동시동작시켜도 성능에는 지장을 주지 않음을 의미한다. 또한 응답성을 보면 signal과 동시에 액추에이터가 동작하고 있음을 볼수 있는데 이는 작동유가 비압축성이 오일이라 압축성에 의한 응답성 저하의 영향을 받지 않으며, 누유의 발생이 거의 없었음을 의미한다.

4. Output data 검토 및 Simulation 정확성 검토

Simulation 결과 나온 data를 분석해 보면 밸브displacement의 선형적 증가와 감소가 확연하게 들어남으로써 액추에이터가 시스템내에서 제대로 작동함을 알 수 있고, B사의 VRCS동작시간과 거의 일치함으로써 시스템 모델링 및 시뮬레이션 조건이 정확함을 알수 있다. 두 개의 액추에이터 단독작동과 동시작동시에도 응답시간이 동일하며 초기에 각종 Component들의 Simulation 결과 나온 특성들이 전체시스템에서도 정확히 작동하고 있음을 알수 있다. 이상의 자료로부터 Simulation 결과 나온 data는 실제 시제품에서의 실험 data와 동일하며 이는 System을 제대로 모델링하고 Simulation했음을 입증한다.

5. 결 론

지금까지 VRCS를 modeling 및 Simulation한 결과 액추에이터의 변위제어 및 작동시간에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

	VRCS 시제품	Simulati on
Limit Switch Type 0.3m 제어	25.2초	28.2초
Limit Switch Type 0.5m 제어	42초	45.5초
VPI Type 0.5m 제어	40초	46초
VPI Type 0.2m 제어	17초	19.2초
VPI & Limit Switch Type 동시제어	동일	동일

앞서 제안한 방식으로 유압시스템을 설계한 결과 실제 시제품제작시 시뮬레이션상에서 얻은 결과값과 거의 동일한 결과값을 얻을 수 있다. 이로부터 본 논문에서 제안한 CAD software적용방법이 유용함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터(RRC)의 지원에 의한 것입니다. 또한 본 연구는 (주)BY의 지원에 의한 것입니다

참 고 문 헌

- 1.주해호, 유압공학, 대광서림, 1998.
- 2.FESTO연구팀,Fundamental of Control, FESTO
- 3.IMAGINE연구팀, AMESimManual, IMAGINE
- 4.Katsuhiko Ogata, 현대제어공학, Prentice Hall
- 5.李徵敎 , 알기쉬운유압, 기전연구사, 1998.