

치과용 유니트체어 유압구동 시스템 해석모델을 활용한 개선설계 사례

Case of Improving Design by Using Analysis Model of Hydraulic System for Dental Chair

노대경¹ · 이동원¹ · 김택준² · 장주섭^{3*}

Dae Kyung Noh, Dong Won Lee, Taek June Kim and Joo Sup Jang

Received: 02 Feb. 2023, Accepted: 10 Mar. 2023

Key Words : Dental chair(치과용 유니트체어), Hydraulic circuit(유압회로), Loading condition(부하조건), Flow control valve(유량제어밸브), Check valve(체크밸브), SimulationX(시뮬레이션엑스)

Abstract: This study aims to develop a Korean dental chair hydraulic circuit by improving the existing equipment in order to localize foreign leading companies' products. The suggested Hydraulic circuit can be applicable to varied sectors where height and backrest angle control of chair-type equipment are required. The study followed the steps below. First, three kinds of foreign hydraulic circuits were analyzed and three kinds of Korean dental chair hydraulic circuits were suggested. Second, it was determined whether the three kinds of Korean hydraulic circuits operate normally through SimulationX, a software specialized in multi domain analysis, and the effectiveness of each circuit was examined.

1. 서 론

치과용 유니트체어 유압구동 시스템은 높낮이 조절과 등받이 각도 조절이 필요한 다른 분야에도 널리 응용이 가능하다. 예를 들면 이미용 의자류, 전동 수술대 등이 있다. 선행연구에서 해석모델을 개발하여 분석하였던 치과용 유니트체어는 해외기업에서 유압회로 자체를 지식재산권에 등록하려고 시도하고 있으며¹⁾, 등록이 되면 더 이상 자유롭게 활용하는 것이 어려워진다. 현재 해외는 이미 원천기술에 가까운 치과용 유니트체어의 유압회로²⁾가 등록이 되어 이를 회피하기 위하여 다양한 변종특허가 나오고 있는 상황이다^{1),3)}. 국내 기업들이 해외에서 활동하기 위해서

는 이러한 변종특허들과 선행연구에서 분석하였던 현재 출원중인 특허를 동시에 회피하는 방안이 요구된다.

기존 회로를 바탕으로 새로운 유압회로를 설계하는 방법은 하드웨어를 구축하여 실험을 통해 진행하는 방법과 가상설계를 이용하는 방법이 있다. 실험을 통해 다양한 유압회로를 꾸미는 것은 기술적으로 어려운 일이 아니지만 비용이 많이 소모된다. 즉, 신규 진출기업이 하드웨어 구축을 통한 설계방법을 선택하면, 치과용 유니트체어의 개발비용 측면에서 유압회로 설계 기술을 기 확보한 기업들에 비해 매우 불리한 위치가 된다. 이에 가상환경에서 해석모델을 활용하여 다양한 변종회로를 개발하여 시스템 요구 성능에 부합하는지 확인이 필요하다. 본 연구는 해외선진사에서 출원 및 등록 중인 특허들을 회피할 수 있는 유압회로를 해석모델을 통해 검토한 사례이며, 궁극적으로는 다양한 종류의 치과용 유니트체어 유압회로 해석모델을 개발 및 확보하여 국산화를 위한 가상설계 기반을 구축하는데 목적이 있다.

연구 진행방법은 다음과 같다. 우선 개선설계가 요구되는 해외선진사의 유압회로를 분석한다. 그리고 회로의 기능은 유지하면서 다른 구성부품을 사용하

* Corresponding author: jjs1@gachon.ac.kr

1 Daegu, Gyeongbuk Branch, Korea Institute of Science and Technology Information, Daegu 41515, Korea

2 R&D center, CYSKO, Daegu 42704, Korea

3 Department of Mechanical Engineering, Gachon University, Seongnam 13120, Korea

Copyright © 2023, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

는 방법을 제안한다. 이후 각 방법을 유압시스템 분석에 적합한 멀티도메인 해석 소프트웨어인 SimulationX를 통해 구현하여 유효성을 검토한다⁴⁾. 유효성 판정 기준은 실린더가 설계 요구조건인 1cm/s 이상의 속도로 정상 작동하는지 여부이다. 선행연구에서는 유압회로 내부의 압력 거동과 릴리프밸브 통과 유량, 압력 변화에 따른 내접기어펌프의 용적효율 변화 등이 복합적으로 분석된 상태에서, 최종적으로 실린더 속도를 유니트체어 유압회로 유효성 판정 기준으로 제시하였다. 이에 후속연구인 본 연구에서는 선행연구에서 최종 제시한 실린더 속도를 유압회로 유효성 판정 기준으로 정하였다¹⁰⁾.

2. 해외선진사 유압회로 분석

본 연구를 통해 회피설계를 해야 하는 유압회로는 3종류이다.

우선 현재 해외선진사에서 등록하여 권리를 보호 받고 있는 치과용 유니트체어 유압회로인 Fig. 1²⁾은 체크밸브 내장형 솔레노이드밸브 7개와 일반 체크밸브 3개, 어큐뮬레이터 1개, 복동실린더 1개, 단동실린더 1개, 복동실린더의 유량조절을 위한 가변 유량제어밸브 2개로 구성이 되어있다(JAPAN Patent No. 2010-233604A, 2009). 복동실린더의 회귀 유량만 제어하는 것이 특징이며, 어큐뮬레이터를 통해 단동실린더의 완충과 잉여유량을 이용한 에너지 저장을 동시에 하는 회로이다.

두 번째로는 다른 해외선진사에서 출원하여 공개 중인 특허의 유압회로인 Fig. 2¹⁾이다(JAPAN Patent No. 2021-134898A, 2020). Fig. 1과 비교하면 실린더의 회귀유량 뿐만 아니라 진입유량도 제어하는 가변 유량제어밸브가 있는 것이 특징이며, 단동실린더에 자동 복귀를 위한 스프링 등의 장치를 포함하고 있다. 먼저 등록된 Fig. 1회로를 회피하기 위하여 진입 유량을 제어하는 밸브 등으로 차별성을 준 것으로 보여 진다. 본 특허에는 Fig. 3¹⁾과 같이 단동실린더만으로 회로를 구성한 도면을 포함한다(JAPAN Patent No. 2021-134898A, 2020). 본 회로에는 유량제어 기능이 추가된 체크밸브 내장형 솔레노이드밸브가 2개 사용된다. 이 밸브는 명세서에 유압회로에 발생하는 충격을 경감시키기 위한 용도로 표시되어 있으나 회로 구성부품인 가변 유량제어밸브와 기능이 중복되므로 제거하여도 무방하다 판단된다.

본 연구에서는 첫 번째로 단동실린더만으로 구성

되고 Fig. 3에서 솔레노이드밸브의 유량제어 기능을 제거한 형태인 회로를 제안한다. 두 번째로 유니트체어 높낮이 조절은 단동실린더를 활용하고, 등반이 각

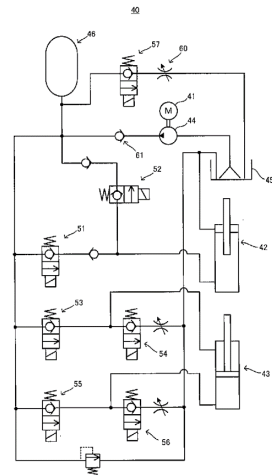


Fig. 1 Registered patent for hydraulic circuit of dental chair

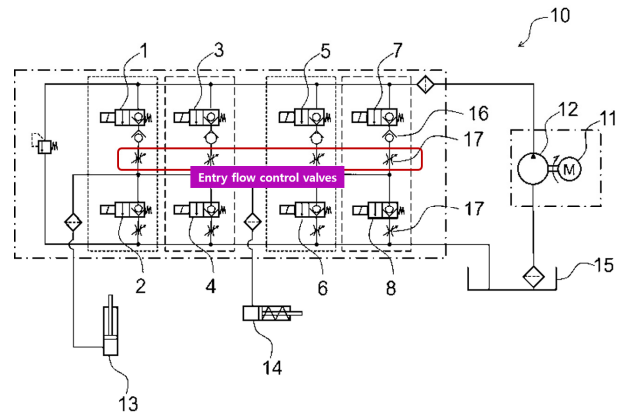


Fig. 2 Publicized patent for hydraulic circuit of dental chair

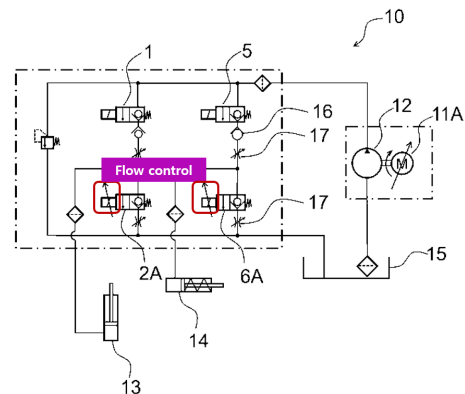


Fig. 3 Publicized patent for dental chair hydraulic circuit comprised of two single acting cylinders

도조절을 4/3 방향제어밸브로 기존 유압회로를 단순화한 회로를 제안한다. 세 번째로는 Fig. 2의 회로에서 실린더 진입유량을 제어하는 유량제어밸브를 제거하고 회로 상단의 체크밸브 내장형 솔레노이드밸브를 온오프 타입의 2/2방향제어밸브로 교체하는 것을 제안한다. 진입유량을 제어하는 유량제어밸브를 제거하는 근거는 선행연구에서 개도량을 100%로 하였을 때 설계기준인 실린더 속도 1cm/s를 만족시키는 결과를 보여주었기 때문에 유량제어의 의미가 없다고 판단되었기 때문이다.

3. 개선설계 유효성 검토

파워팩과 릴리프밸브, 실린더 제원은 선행연구의 해석모델과 동일한 조건을 유지하며 개선설계안에 대한 시뮬레이션을 진행하였다. 유종은 미네랄 오일인 HLP46을, 유온은 40°C 고정으로, 작동유 가스함 유량은 0.2% 조건으로 해석을 진행하였다.

해석에 사용된 솔버는 다양한 연구를 통해 유압시스템 분석에 적합하다고 판단되는 BDF(Backward differentiation formula) Method이고, 허용 상대오차는 1e-06, 절대오차는 1e-06로 해석을 진행하였으며, 계산스텝사이즈는 최소 1e-12부터 상황에 맞게 조정하여 시뮬레이션 하였다⁵⁻⁹⁾. 개선설계 대상인 원 유압회로 해석모델은 Fig. 4와 같다.

3.1 단동실린더를 활용한 회로 단순화

선행연구에서 분석하였던 해외선진사의 유압회로는 솔레노이드밸브 6개와 가변 유량제어밸브 6개, 체크밸브 3개, 복동실린더 1개, 단동실린더 1개로 이루어져있다. 이 시스템에서 복동실린더 1개를 단동실린더로 교체하게 되면 유압회로의 구성부품은 솔레노

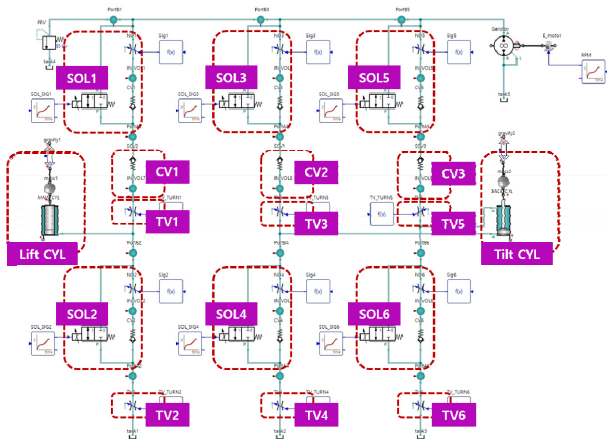


Fig. 4 Analysis model of hydraulic circuit (original)

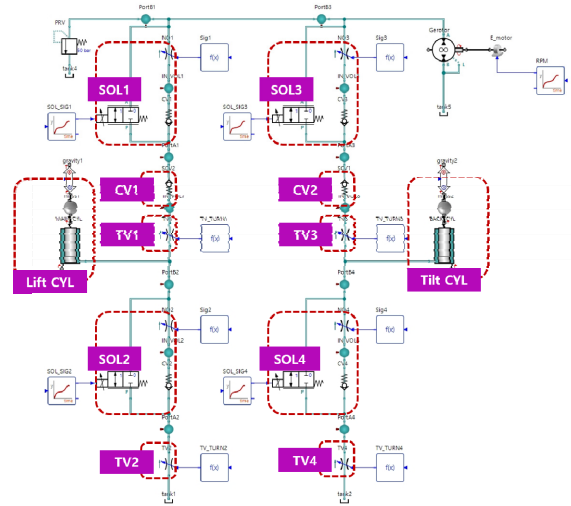
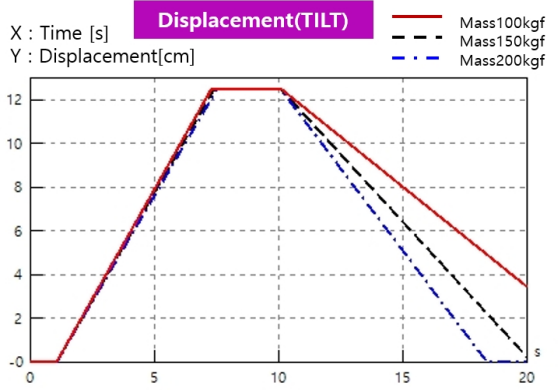


Fig. 5 Analysis model of hydraulic circuit using single acting cylinder (concept 1)

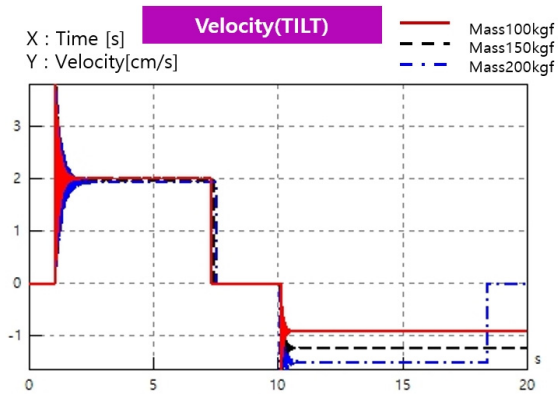
이드밸브 4개, 가변 유량제어밸브 4개, 체크밸브 2개, 단동실린더 2개로 구성부품이 줄어들게 된다. 제조원가 측면에서 유리한 설계인 것이다. 하지만 단동실린더로만 이루어진 시스템은 높낮이 조절 같은 경우에는 실린더가 하단에 위치하여 장비와 사람의 모든 하중을 다 받기 때문에 중력에 의한 하강이 원활하지만 등반이 각도 조절은 하중 조건이 훨씬 가볍기 때문에 여러 상황을 가상환경에 모사하여 검토할 필요가 있다. 단동실린더를 활용한 단순화된 유압회로 해석모델을 Fig. 5와 같이 개발하였다.

복동실린더에서 단동실린더로 등반이 각도 조절부분이 변경되면서 발생할 수 있는 다양한 상황을 검토하기 위하여, 등반이 각도 조절 실린더에 적용되는 부하를 200kgf, 150kgf, 100kgf로 변경해가면서 해석을 진행하였다. 가변 유량제어밸브는 50% 개도조건으로 고정하였다. Fig. 6은 등반이 각도 조절 실린더를 단동실린더로 교체하였을 때 유압회로에 대한 해석결과이다. 150kgf 이상에서는 시스템 요구조건인 실린더 속도 1cm/s 이상을 만족하였지만, 하중이 가벼워질수록 실린더의 복귀가 원활하지 않는 경향을 보여주었다. 특히, 100kgf에서는 실린더 복귀속도가 설계 요구조건인 실린더 속도 1cm/s를 만족하지 못하는 것으로 분석되었다. 이에 본 유압회로를 응용하여 단동실린더로만 이루어지는 유니트체어류를 개발할 때는 등반이 부분에 압축방향의 복귀를 돕는 장치가 필요하다고 보여 진다.

높낮이 조절 실린더와 관련된 유압회로는 선행연구와 동일하기 때문에 유효성 검토를 위한 해석은 수행하지 않았다.



(a) Displacement



(b) Velocity

Fig. 6 Analysis results of concept 1 depending on changes in loading condition

3.2 4/3 방향제어밸브를 활용한 회로 단순화

현재 해외선진사의 기술을 바탕으로 설계된 유압 회로는 실린더 2개를 거동하는데 6개의 솔레노이드 밸브가 사용되고 있다. 물론 카트리지 타입의 솔레노이드 밸브가 소형이고 단가가 저렴하기 때문에 이러한 구성이 가능하지만, 오작동할 경우 원인을 찾아서 진단하고 조치하기 용이한 구조는 아닌 회로이다. 구성된 회로는 모든 솔레노이드 밸브가 하나의 밸브블록으로 유로를 공유하고 있기 때문에 오작동할 경우 원인을 진단하고 조치하는데 많은 시간이 소요될 가능성이 크다. 이에 단동실린더는 카트리지 타입의 회로를 유지하고, 복동실린더 구동을 위하여 별도의 독립된 블록에 4/3방향제어밸브를 설치하는 방법을 제안하였고, 유효성 검토를 위하여 Fig. 7과 같이 해석 모델을 개발하였다.

이러한 설계 방법을 적용하면 실린더별로 블록이 구분되어 오작동할 경우 조치를 취해야하는 부분이 명확해진다. 또한 복동실린더를 구동하기 위한 4개의 체크밸브내장형 솔레노이드밸브가 1개의 4/3방향제어밸브로 단순화되어, 관리가 용이해진다. 밸브 단가

역시 카트리지 타입의 밸브 4개와 1개의 4/3방향제어 밸브는 큰 차이가 없을 것으로 판단된다. 하지만 복동실린더에 작용하는 부하가 크거나, 장시간동안 실린더의 자세를 반드시 유지해야하는 분야에 적용하

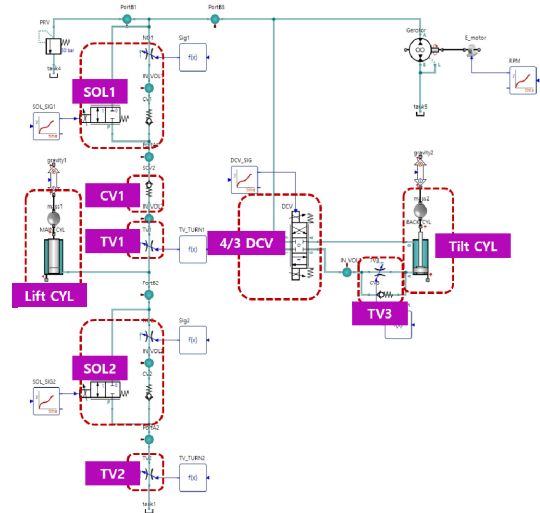
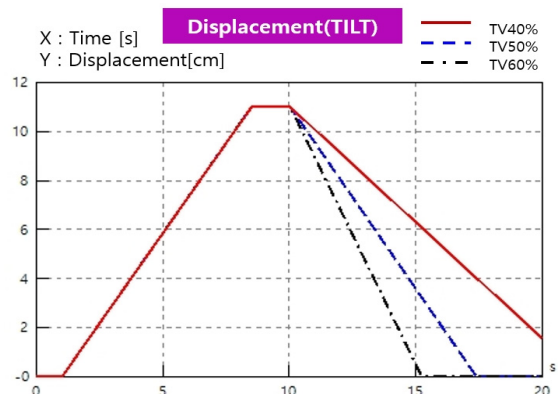
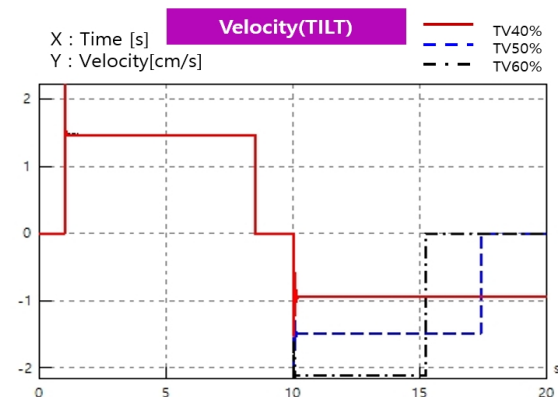


Fig. 7 Analysis model of hydraulic circuit using 4/3 directional control valve (concept 2)



(a) Displacement



(b) Velocity

Fig. 8 Analysis results of concept 2 depending on adjusting flow control valve

기 위해서는 파일럿 작동 방식의 체크밸브를 추가적으로 사용하는 것을 권장한다.

4/3방향제어밸브를 이용한 회로도의 유효성 검증을 위한 해석은 등받이 실린더 부하조건을 150kgf 고정하고, 복동실린더 부분의 가변 유량제어밸브의 개도량을 40~60%로 조절하면서 진행하였다. Fig. 8은 해석결과이며, 유량제어밸브의 개도량이 50% 이상이면 유니트 제어 설계 요구조건에 만족하는 것으로 나타났다.

3.3 중복기능 제거를 통한 회로 단순화

중복기능을 제거한 회로는 해외선진사에서 개발한 유압회로의 원형을 최대한 보존하면서 구성부품에 변화를 주어 설계한 회로이다. 선행연구에서 현재의 펌프 제원(0.5cc/rev, 0.9L/min)으로는 실린더로 진입하는 부분의 유량제어밸브 개도량을 100%로 하여도 실린더의 속도가 충분히 느리기에, 굳이 제어가 필요치 않은 것으로 분석되었다. 그리고 Fig. 2를 살펴보면 회로의 주 구성부품이 체크밸브 내장형 솔레노이드 밸브임을 알 수 있다. 중력에 놓인 부하에 의하여 실린더가 힘을 받는 방향이 압축방향이면, Fig. 2에서 실린더 진입 방향을 제어하는 밸브(1, 3, 5, 7 표기)를 굳이 체크밸브 내장형으로 사용할 필요가 없다. 어차피 바로 아래 배치된 체크밸브(16 표기)에 의하여 가압된 실린더 내부 작동유가 밸브(1, 3, 5, 7 표기)로 유입되는 유량을 차단하기 때문이다. 이에 회로 상단에 위치한 체크밸브 내장형 솔레노이드 밸브를 보통 온오프타입의 솔레노이드 밸브로 대체하여 구성하더라도, 회로의 기능과 성능은 동일하게 된다.

개선설계 방안을 종합하여 보면 실린더 진입유량을 제어하는 유량제어밸브들을 제거(17 표기, 박스)하고, 회로 상단의 솔레노이드밸브(1, 3, 5, 7 표기)를

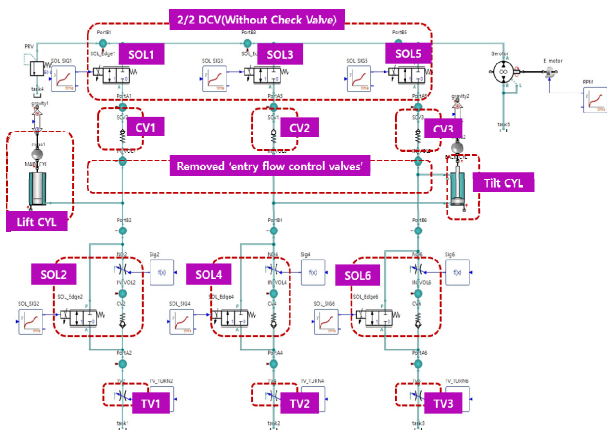
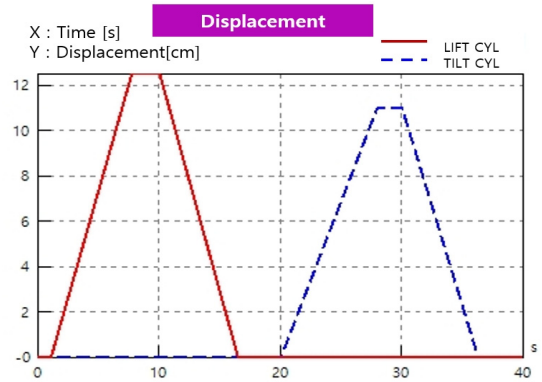
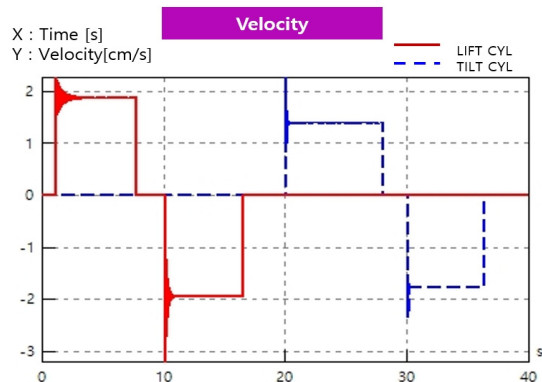


Fig. 9 Analysis model of hydraulic circuit with duplicate functions eliminated (concept 3)



(a) Displacement



(b) Velocity

Fig. 10 Analysis results of behavior of cylinders in concept 3

온오프타입의 2/2밸브로 교체하면 특허회피가 가능할 것으로 판단된다. 제안된 회로의 해석모델은 Fig. 9와 같다.

제안된 회피설계용 회로도도의 기능과 성능이 원 회로도도에 비해 부족하지 않음을 검증하기 위하여 높낮이 조절과 등받이 각도조절에 대한 해석을 진행하였고, Fig. 10과 같은 해석결과를 얻었다. 높낮이와 등받이 모두 설계 요구조건인 실린더 속도 1cm/s를 만족하는 결과를 보여주었다.

4. 결론

본 연구에서는 해외선진사에서 개발한 치과용 유니트 제어 유압회로에 대한 세 종류의 개선설계안을 제안하고, 멀티도메인 해석 소프트웨어를 활용하여 해석모델을 개발한 후, 실린더의 작동 속도를 분석하여 유압회로의 유효성을 검토하였다. 연구 성과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 선행기술을 분석하여 단동실린더만을 사용하는 유압회로, 4/3 방향제어밸브로 단순화한 유압회로, 중

복기능을 제거하여 단순화한 유압회로를 제안하였다.

2) 위에서 제안한 유압회로 3종에 대한 해석모델을 개발하여, 문제가 될 수 있는 부분에 대한 검토와 유니트체어 설계 요구조건에 만족하는지를 해석하여 유효성을 검토하였다.

3) 단동실린더만 활용한 유압회로는 시뮬레이션을 통해 실린더에 가해지는 하중이 너무 가벼우면 복귀가 원활하지 않을 수 있음을 확인하였다.

4) 4/3 방향제어밸브를 활용한 회로는 복동실린더에 가해지는 부하가 크거나 장시간 반드시 자세를 유지해야 하는 분야에 적용하는 것이 아니라면 활용이 가능하며, 시뮬레이션을 통해 설계 요구조건에 만족하는 것을 확인하였다.

5) 시뮬레이션을 통해 중복기능을 하는 부품을 제거하여 유압회로를 단순화하더라도 안정적으로 동작함을 확인하였다.

본 연구에서 개발된 세 종류의 유압회로 해석모델은 치과용 유니트체어 유압구동 시스템의 국산화를 위한 가상설계 기반으로 활용될 예정이다. 또한 등반이 각도조절과 높낮이 조절이 요구되는 이미용 체어류와 전동 수술대, 병커침대¹¹⁾ 등 다양한 장비에 응용이 가능할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 한국과학기술정보연구원 「수요대응형 지역혁신 생태계 활성화 및 AI 솔루션 실용화 지원 체제 구축」 사업의 지원을 받아 진행되었습니다.

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

References

- 1) FINESINTER CO., LTD(2020). JAPAN Patent No. 2021-134898A, 愛知県春日井市明知町西之洞1189番地11:株式会社ファインシンター.
- 2) GC Corporation(2009). JAPAN Patent No. 2010-233604A, 東京都板橋区蓮沼町76番1号:株式会社ジーシー.

- 3) OSADA ELECTRIC CO LTD(2014). JAPAN Patent No. 2016-073343A, 東京都品川区西五反田5丁目17番5号:長田電機工業株式会社.
- 4) Y. H. Yoon and J. S. Jang, "SimulationX, Multi-domain Simulation and Modeling tool for the Design, Analysis, and Optimization of Complex systems", J. of Drive and Control, Vol.9, No.1, pp.56-69, 2012.
- 5) D. K. Noh, Y. K. Kang, J. D. Ji, J. S. Park and J. S. Jang, "Case of Developing Analysis Model for Recoil System for Automatic Gun", Journal of Korea Society for Simulation, Vol.24, No.4, pp.35-41, 2015.
- 6) D. K. Noh, S. C. Kim, Y. J. Kim, and J. S. Jang, "Lubricant flow analysis for effective lubrication of tractor forward/reverse clutch", Heliyon, Vol.3, No.4, e00295, 2017.
- 7) D. K. Noh, D. H. Lee, J. S. Yun, and D. W. Lee, "Development of Analysis Model and Sensitivity Analysis for High-Power Hydraulic Drifter Design", J. of the Korea Society for Simulation, Vol.27, No.2, pp.11-24, 2018.
- 8) D. K. Noh, D. W. Lee, J. S. Lee, and J. S. Jang, "Analysis of Surplus Flow in a Hydraulic System Applied to a Self-propelled Spinach Harvester," J. of Drive and Control, Vol. 19, No. 1, pp.26-33, 2022.
- 9) D. K. Noh, D. W. Lee, J. S. Lee, and J. S. Jang, "Improving Hydraulic System Design by Analysis Model of a Self-propelled Spinach Harvester," J. of Drive and Control, Vol. 19, No. 1, pp.69-75, 2022.
- 10) D. K. Noh, D. W. Lee, T. J. Kim, and J. S. Jang, "Developing Analysis Model of Hydraulic System for Dental Chair," J. of Drive and Control, Vol. 20, No. 1, pp.27-33, 2023.
- 11) G. H. Jung, "Design of a Height Adjustable Bunker Bed Using a Gas Spring", J. of Drive and Control, Vol. 18, No. 4, pp.19-27, 2021.
- 12) FINE SINTER CATALOG & Technical Data.