

정압력원 시스템과 CPS 카 Constant Pressure System (CPS) and CPS Car

안경관 · 조용래

K. K. Ahn and Y. R. Cho

1. 하이브리드 카

최근 환경 문제 있어서 특히 지구 온난화 방지에 관하여 자동차의 배기가스를 감소하고, 에너지를 절감해야하는 고효율화 및 저공해화가 해결해야 할 과제로 검토되고 있다. 이런 문제를 해결하기 위하여 크게 두 가지 방법이 있다. 첫째는 원동기 자체의 개량에 의한 것으로 린번 엔진, CNV 엔진, 연료전지에 의한 전동 모터 구동 등이 검토 개발되고 있고 일부 실용화 되어 있다. 또한, 엔진이 항상 효율이 좋은 동작으로 구동되도록 하는 방법도 고려된다. 둘째는 보조 동력원의 조합으로 하이브리드 시스템을 구성하고 주행 시의 운동 에너지나 포텐셜 에너지를 회생하고 재이용하는 방법이다. 단순한 전기 자동차는 발전 효율, 충전 효율, 전지의 제조·폐기시의 환경 부하 등의 문제로 배기가스 감소 효과는 있지만 에너지 절약이라고는 할 수 없다. 현재 전동모터와 엔진으로 구성된 하이브리드 카 등이 크게 주목을 모으고 있다. 하이브리드 카는 원동기와 보조 동력원의 조합으로 결정되는데, 보조 동력원으로는 주로 표 1과 같은 시스템이 있다. 여기서 엔진은 원동기를 의미한다.

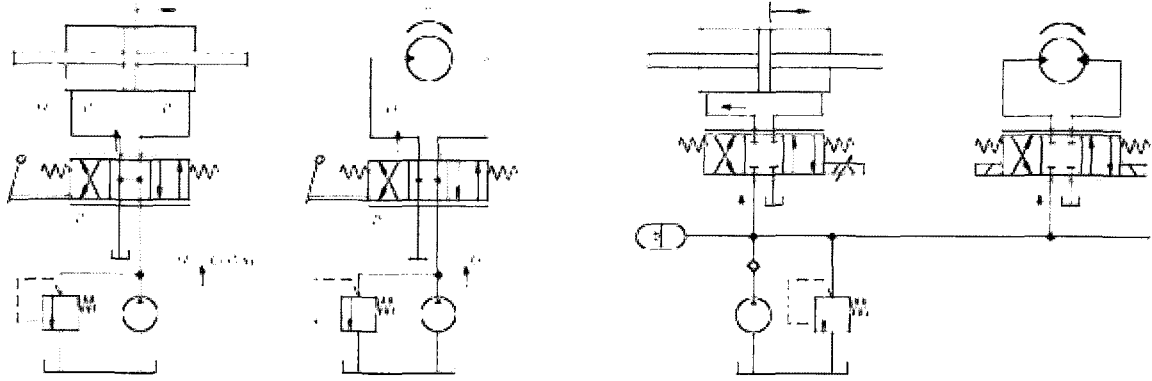
- 1) 엔진 + 전동모터, 축전지
- 2) 엔진 + 유압 펌프/모터, 어큐물레이터
- 3) 엔진 + 유압 펌프/모터, 플라이 휠

후에 서술할 CPS를 응용하는 것에 의해 유압을 이용한 무단 변속과 동시에 회생 효율이 좋은 하이브리드 카를 실현할 수 있으며, 이것들을 CPS Car, CPS Bus라고 부른다. 이 방법은 철도의 디젤 차량, 건설 기계에도 응용할 수 있으며, 폭넓게는 산업 기계에 있어서도 유용하리라 생각된다.

하이브리드 카에 있어서 보조 동력원으로서 전기를 이용하느냐, 유압을 이용하느냐 하는 것은 큰 문제이다. 에너지 또는 파워를 일시적으로 축적해 두는 장치로서 앞서 서술한 것처럼 어큐물레이터, 플라이 휠 그리고 축전지의 3종류가 고려되지만, 이들을 에너지 밀도(단위 질량당 축적 에너지 량)와 파워 밀도(단위 시간당 내보내고 받아들이는 에너지 량)로 비교하면 에너지 밀도에 관해서는 축전지, 플라이 휠, 어큐물레이터의 순서이고, 파워 밀도에 관해서는 그 반대가 된다. 축전지는 에너지는 많이 저장되지만 에너지를 빠르게 내보내고 받아들이는 것은 느리고, 어큐물레이터는 에너지의 내보내고 받아들이는 것은 빠르지만 에너지가 많이 저장되지 않는다. 반면에 플라이 휠은 축전지나 어큐물레이터와 비교시 출력 파워밀도, 에너지 밀도가 모두 균형있게 뛰어나다는 특징을 가진다. 플라이 휠은 고속 회전시에 바람에 의한 손실이 커지고, 케이스를 진공화 하는 등의 필요도 있지만 전체적으로 경량화가 가능하고 제조·폐기시에 필요한 재료, 비용의 문제가 적다.

표 1 보조 동력원의 비교

	에너지 밀도	출력 파워 밀도	제조·폐기시 에너지	생산 비용	수 명	동력전달 용량
플라이 휠	○	○	●	●	●	△
축전지	●	△	X	X	X	●
유압 어큐물레이터	X	●	●	○	○	○



Primary Control

CPS (Secondary Control)

그림 1 Primary Control과 CPS (Secondary Control)

현재 실용화되고 있는 하이브리드 카는 다음과 같다. 일본은 1997년에 도요타 자동차가 소형차에 전기모터·엔진을 장착한 하이브리드 카인 프리우스를 개발하였으며, 개량을 거친 개량형 프리우스(세계 최고의 연비, 31km/L)를 개발하여 양산하고 있다¹⁾. 버스는 94년부터 디젤 자동차의 배기가스 규제에 의해 하이브리드 카의 개발이 진행되었으며, 전기 하이브리드 개발이 1개 회사, 유압 어큐뮬레이터를 이용한 유압 회생 하이브리드 카의 개발은 미쓰비시 자동차, 의자 자동차, 닛산 디젤의 3개 회사이다. 버스의 하이브리드 시스템도 보수의 용이성 등으로부터 대체로 전기 구동으로 변하고 있다²⁾. 독일의 렉스로스 사에서도 2차제어와 어큐뮬레이터를 이용한 에너지 회생형 버스의 연구가 진행되었다. 스웨덴의 볼보사에서 플라이 휠과 기계식 변속장치를 이용한 하이브리드 버스에 대해 개발³⁾하였지만 무단 변속에 문제가 있어서 실용화되지는 않았다.

2. 정압력원 시스템 (CPS)

정압력원 시스템(CPS)은 일본 유공압 학회(현: Fluid Power System 학회)의 연구 위원회에 의하면 "압력을 거의 일정하게 유지된 공통 고압 라인과 공통 저압 라인과 사이에 병렬로 다수의 가변 용량 펌프/모터(내보내고 받아들이는 용적을 정/역 방향으로 제어 할 수 있는 것)가 연결되어 있는 정압력원 시스템에서는 그것들이 개별적으로 제각기 상황에 따라 펌프 또는 모터가 되어 공통의 정압력원으로부터 정압 에너지를 교환하면서 서로 에너지를 낭비 없이 이용해 가는 것이 가능하다. 따라서 운동·위치 에너지의 회수가 가능하고 종래의 액압

구동 시스템보다도 더욱 에너지 절약 에너지로 많은 장점을 갖는 새로운 시스템을 구축할 수 있는 가능성이 있다."라고 기술하고 있다⁴⁾. CPS는 그림 1에 나타난 것 같은 이른바 2차 제어 시스템과 유사하다. 시스템 안에 일정압 라인이 있고 그 일정 압력원에 대하여 액추에이터는 에너지를 받아들이거나 되돌릴 수 있다.

개념적으로는 전기의 경우의 교류 220V의 가정 배선과 사실은 거의 동일하다. 이 유압 회로를 실현하기 위해서는 아무래도 전기의 모터/제너레이터에 해당하는 유압 가변 펌프/모터가 필요하다. 하이브리드 카로서 CPS 카에 응용한 경우에는 무단 변속기로서의 기능도 중시된다. 종래의 유압 HST, HMT와 비교한다면 그 특성은 크게 다르다. HST가 변속 제어가 되는 것에 대하여 CPS는 토오크 제어가 된다. 차의 구동에 응용한 경우 변속 제어는 압력의 변동이 크고 아무래도 쇼크가 피할 수 없지만 토오크 제어는 압력의 변동이 없어 원활한 운전이 가능해진다.

3. CPS Car의 개념

CPS 카의 개략도를 그림 2에 나타낸다⁵⁾. 엔진의 출력 축, 플라이휠 축, 차 축 각각에 가변 용량 펌프/모터를 장착하고, 공통 고압라인과 공통 저압라인 사이에 병렬로 연결되어 있다. 또, 공통 고압라인에는 압력 맥동 흡수를 위한 유압 어큐뮬레이터가 연결되어 있다. 여기서 이용되는 가변 용량 펌프/모터는 1회전당 용적을 사판각 제어에 의해 연속적으로 그리고 정/역방향으로 변화시킴으로써 펌프 및 모터의 어떤 작동도 가능한 에너지 변환 기구로서 역

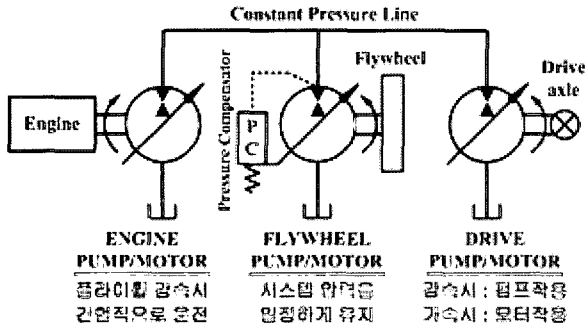


그림 2 CPS Car의 개략도

할을 한다. 주행 시에 엔진은 기본적으로 정지 상태이고, 차량은 플라이 휠의 회전 에너지에 의하여 구동 된다. 공통 고압라인은 플라이휠에 장착된 플라이 휠 펌프/모터 및 압력보상기의 작동에 의하여 일정하게 유지된다. 차량의 가속 시에는 드라이브 펌프/모터를 모터로 작동시키고, 감속 시에는 펌프로 작동시킨다. 드라이브 펌프/모터를 펌프로 작동시켜 차량을 감속시킬 경우 공통 고압라인의 압력은 상승하게 된다. 이 압력상승으로 플라이휠 펌프/모터는 모터작동을 하게 되고 차량의 제동 에너지는 플라이 휠의 회전 관성 에너지로 회수 되어 가속 시에 재이용 된다.

엔진은 플라이 휠의 회전속도가 설정한 하한치가 되면 시동되고, 공통 고압라인의 압력을 높게 된다. 이 압력 상승을 받아서 플라이휠 펌프/모터는 모터 작동을 하게 되고, 플라이 휠의 회전속도를 상승시킨다. 그리고 이 시스템에서 플라이휠 펌프/모터의 사판각은 높은 에너지 회생 효율을 위하여 최대의 사판각 영역에서 작동 되도록 제어된다. 따라서 엔진은 항상 효율이 최적인 상태로 일정 회전, 일정 토크에 의해 간헐적으로 운전을 할 수가 있고, 연비 절역 효과를 기대할 수 있다.

4. CPS Car의 가능성 검토

CPS Car의 가능성 구현하기 위한 해결해야 할 것 중 하나는 에너지가 펌프/모터를 통과할 때마다 유압 펌프/모터의 효율에 의한 에너지가 손실이 발생한다. 따라서 CPS Car의 가능성을 연구함에 있어서 고려해야 할 것은 다음과 같다.

- 1) 효율이 좋은 펌프/모터의 선정
- 2) 플라이 휠 펌프/모터의 효율 파악과 향상
- 3) 아이들링을 동반하지 않는 엔진의 On/Off 회전수 제어

4) 관로계를 포함한 시스템 효율과 소음

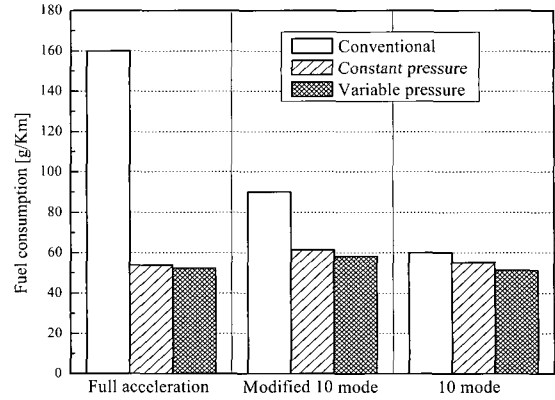


그림 3 연료소비량 시뮬레이션 결과

본 연구실에서는 Matlab/Simulink를 이용하여 가변 유압 펌프/모터와 보조 동력원인 플라이 휠 을 이용한 CPS Car에 대한 시뮬레이션 모델을 구축하였고, 주행 패턴에 따른 주행 및 정지 시 그리고 감속 시에 따라 시스템 압력을 일정하게 설정하고 가변적으로 설정한 CPS Car의 에너지 절감 타당성에 대해 시뮬레이션으로 검토하였다⁶⁾.

주행패턴은 일본의 10모드(10 mode), 배가속 10 모드(Modified 10 mode), 전력 가속 모드(Full acceleration mode)의 세 가지 주행 패턴을 적용하여 시뮬레이션을 실시하였으며, 그림4에 주행 패턴에 따른 연료소비량의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 전력 가속 모드의 경우 연료 소비량이 기존 차량의 연료 소비보다 67% 감소됨을 알 수 있었다.

5. CPS Car의 벤치 테스트

다음의 그림 4~5에 일본에서 제작한 프로토타입 CPS Car와 유압 회로의 개략도를 나타낸다.

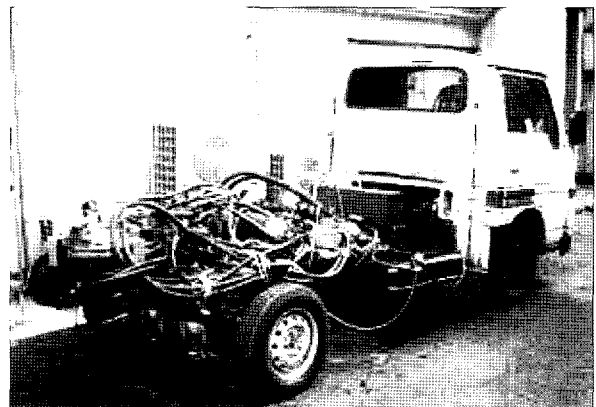


그림 4 Prototype CPS Car (일본)

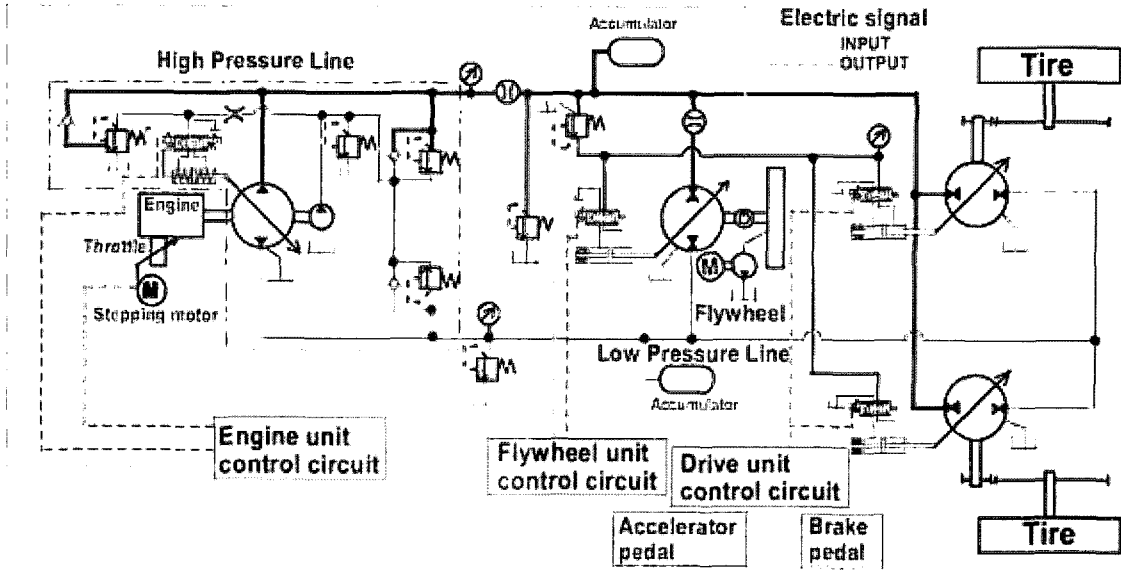


그림 5 CPS Car의 유압 회로 개략도

플라이 휠 유닛, 드라이브 유닛, 엔진 유닛의 각 유닛이 각각 고압 라인과 저압 라인의 사이에 병렬로 연결되어 있으며, 각 유닛은 각각의 제어회로가 있어서 제각각 제어하고 있다. 플라이 휠과 드라이브에 이용한 FFC P/M의 용량을 제어하는 서보밸브의 공급압은 고압 라인 압력으로부터 감압 밸브를 사용하는 것에 의하여 얻어진다. 저압 라인 압력은 엔진 유닛에 사용하고 있는 펌프에 의하여 추가된 부스트 압이다. 부스트 압에 의하여 캐비테이션에 의한 기기의 손상을 막고 있다. 시스템의 유압 맥동을 억제하기 위해 고압 라인과 저압 라인에 각각 어큐뮬레이터를 사용하고 있다. 또 엔진 펌프로부터 고압 라인에 들어가는 유량과 고압 라인으로부터 플라이 휠 펌프/모터에 들어가는 유량을 측정하기 위해, 각각 그림과 같은 위치에 유량계를 설치하였다. 프로토타입 CPS Car의 플라이 휠 유닛, 드라이브 유닛 그리고 엔진 유닛 각각의 유닛에 대한 제어 회로 및 동작 확인 실험을 실시하였다. 또한, CPS Car 전체 동작 확인을 위한 주행 모의 실험을 실시하였다.

본 연구실에서는 기존의 CPS Car 시스템은 높은 에너지 회생 효율을 위하여 플라이휠 펌프/모터의 사판각을 최대의 사판각 영역에서 작동되도록 제어되므로 이 사판각의 급격한 영역 변환에 의하여 고압 관로에서 큰 압력 맥동과 소음이 발생하게 된다. 이런 문제점의 대안으로 새로운 CPS Car 시스템을 제안하였다⁷⁾. 그림 6~8에 본 연구실에서 제작한

CPS Car의 유압 회로 개략도와 벤치 테스트를 나타낸다. 이 시스템은 2차 제어에 의한 정유압 트랜스미션 시스템과 유사하다. 하나의 플라이휠과 두 개의 펌프/모터 및 3개의 전자 클러치로 구성되어 있으며, Driving line과 Recovery line 2개의 정압력 라인을 가지고 있다. Driving line의 압력은 차량 가속 시에 일정하게 유지되도록 제어되며, Recovery line의 압력은 차량 제동 시에 일정하게 유지되도록 제어되고 있다. 가속 시와 제동 시 각각의 작동조건에 따라 한쪽의 라인 압력은 설정된 압력으로 제어되며, 상대쪽 라인 압력은 저압으로 된다. 또한, 양라인에 설치된 비례 릴리프 밸브를 이용하여 양 라인의 압력을 제어할 수 있다. 여기서 엔진은 플라이 휠의 속도가 일정 이하로 떨어졌을 때만 작동되어진다.

작동원리는 가속 시에는 플라이휠 펌프/모터의 토출유량이 드라이브 펌프/모터의 유량보다 크며, Driving line의 압력이 Recovery line의 압력보다

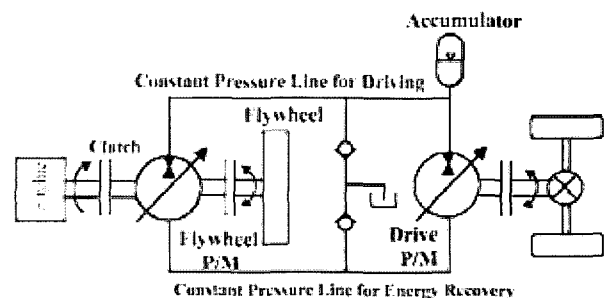


그림 6 새롭게 제안한 CPS Car의 개략도

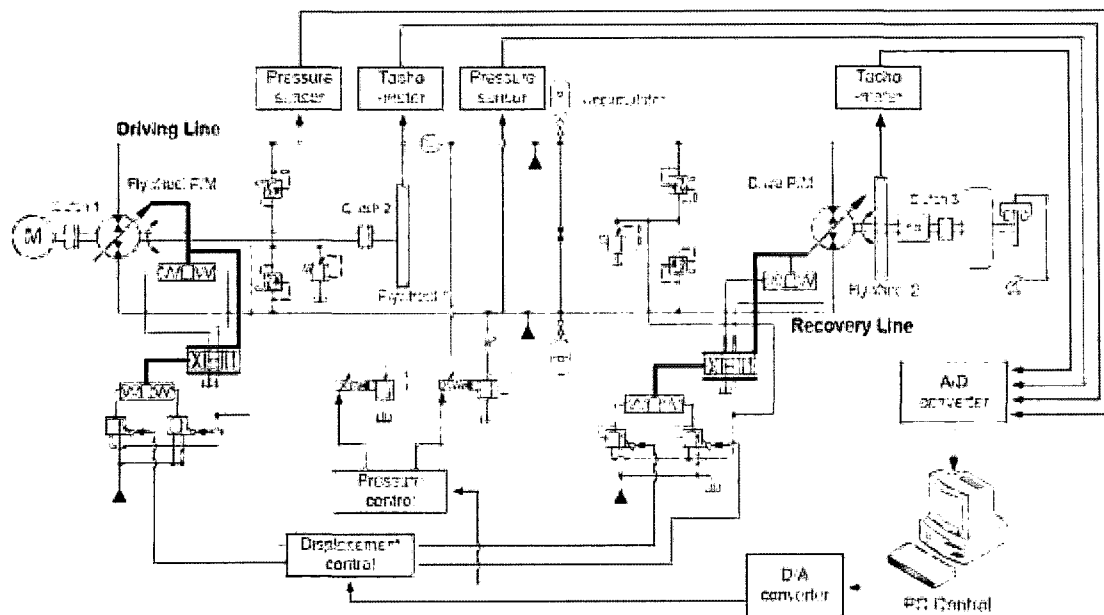
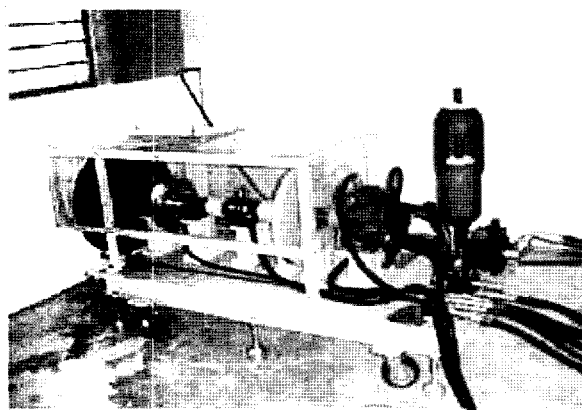
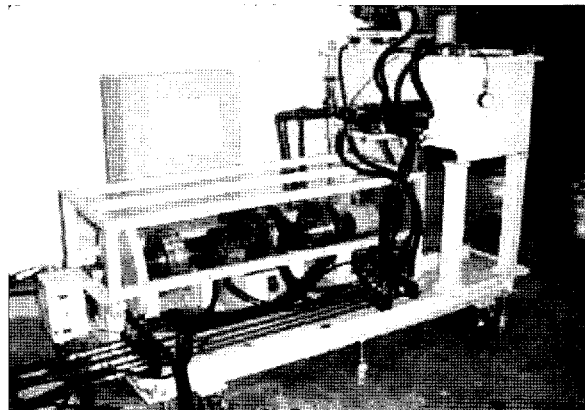


그림 7 CPS Car의 유압 회로도



(a) 드라이브 유닛



(b) 플라이 휠 유닛

그림 8 CPS Car의 벤치 테스트

커짐으로, 드라이브 펌프/모터는 유압 모터로서 작동하게 된다. 역으로, 감속 시에는 플라이휠 펌프/모터의 토출유량보다 드라이브 펌프/모터의 유량이 더 크며, Recovery line의 압력이 Driving line의 압력보다 커짐으로, 드라이브 펌프/모터는 유압 펌프로써 작동하여 유압 브레이크로서의 기능을 하게 된다. 또한, 유압 펌프/모터의 사판각이 항상 양의 영역에서 작동하므로 급격한 압력 발생을 방지할 수 있으며 부품의 내구성도 높일 수 있다.

본 연구실에서는 새롭게 제안한 CPS Car 시스템의 에너지 회수에 대한 가능성에 대하여 이론적 모델링을 수립하고, 시뮬레이션을 수행하였다. 또, 시스템의 효율을 높이기 위한 기초 실험을 수행하였으며, 드라이브 펌프/모터와 플라이 휠 펌프/모터의

용량, Driving line 및 Recovery line의 릴리프 압력 설정 및 에너지 저장용 플라이 휠의 초기 회전속도 등 각각의 설계 변수들이 에너지 회수 효율에 미치는 영향에 대해 검토하였다^{8, 9)}.

향후 에너지 회수 효율에 대한 연구를 계속 진행할 계획이며, 또한 에너지 절감 시스템 건설 중장비의 하이브리드 시스템에도 적용하여 에너지 절감 효과를 검토할 계획이다.

참고 문헌

- 1) 須木裕太, "HEV大型ノンステップ路線バス", 日本機械學會誌, 105卷, 1003号壓, pp. 388~389, 2002.

- 2) 伊藤雅俊, “ミニバン用ハイブリッドシステム”, 日本機械學會誌, 105卷, 1003号壓, pp. 384~385, 2002.
- 3) P. Evans and A. Karlsson, “The Volvo City Bus,” Institution of Mech. Eng., Paper C157 /81, pp. 143~150, 1981.
- 4) 横田ほか, “平成7年度油壓驅動における靜壓力原システムにより省エネルギーの調査研究報告書”, 日機連7省エネ-3, 1996.
- 5) H. Nakazawa, S. Yokota and Y. Kita, “A Hydraulic Constant Pressure Drive System for Engine - Flywheel Hybrid Vehicles,” Third JHPS International Symposium, pp. 513~518, 1996.
- 6) Y. R. Cho and K. K. Ahn, “A Study on the Energy Saving Hydraulic Control System using Variable Displacement Hydraulic Pump/Motor,” Journal of the KSPE, Vol. 20, No. 9, pp. 100~108, 2003.
- 7) K. K. Ahn and B. S. Oh, “An Experimental Investigation of Energy Saving Hydraulic Control System using Switching Type Closed Loop CPS,” ICFP 2005, pp. 153~157, 2005.
- 8) B. S. Oh, “An Experimental Study on the Energy Saving Hydraulic Control System using Variable Displacement Hydraulic Pump/Motor,” M. S. Thesis, pp. 24~28, 2005.
- 9) J. S. Kim and K. K. Ahn, “A Study of

Hydraulic Energy Saving of Constant Pressure System(CPS) using Proportional Relief Valve,” Proceedings of the Korea Fluid Power System Conference, pp. 11~16, 2005.

[저자 소개]



안경관(책임저자)

E-mail : kkahn@ulsan.ac.kr

Tel : 052-259-2282

1966년 12월 16일생

1990년 서울대학교 기계공학과 졸업, 1992년 한국과학기술원 기계공학과 석사 졸업, 1999년 동경공업대학 정밀기계시스템 박사졸업, 1992년 삼성중공업 중장비사업본부 입사, 2000년 울산대학교 기계자동차공학부 조교수, 2004년 동대학 부교수, 2007년 동대학 교수, 유공압 시스템의 지능제어, 에너지 회생을 위한 유압 시스템 및 기능성 유체를 이용한 새로운 액추에이터 연구에 종사, 유공압시스템학회 총무이사, 대한기계학회, 한국정밀공학회, 제어자동화시스템공학회, IEEE, 일본기계학회, 일본유공압학회, 일본계측자동제어학회, 일본로봇학회 등의 정회원

[저자 소개]



조용래

E-mail : uou93cho@ulsan.ac.kr

Tel : 052-259-1432

1974년 5월 28일생, 2003년 울산대학교 기계공학과 석사 졸업, 2005년 동대학원 박사과정 수료, 유공압시스템학회, 한국정밀공학회, 제어자동화시스템학회, 대한기계학회, 일본 유공압학회 등의 학생회원