한국공작기계학회 2004 추계학술대회 논문집 pp.468-473

굴삭기용 Hardware In the Loop System(HILS) 개발

임태형*, 조현철+, 안태규+, 양순용++, 이홍선+++

Development of Hardware In the Loop System(HILS) for Hydraulic Excavator

TaeHyeong Lim*, HyunChoel Cho+, TaeKyu Ahn+, SoonYong Yang++, HongSun Lee+++

Abstract

This paper deal with basic concept of Hardware In the Loop System(HILS) for hydraulic excavator. Hydraulic excavator has many nonlinearities because of P-Q diagram, dead zone and saturation of valve, single acting cylinder, heavy manipulator. So, actual test is needed when new component or control algorithm is developed but many restrictions exist. Hydraulic circuit of excavator is too complex to model mathematically but dynamic equation of manipulator has made good progress in previous studies. Basic concept of HILS and AMESim model of hydraulic components is contained in this paper.

Key Words : Excavator, HILS, AMESim

1. 서 론

유압 굴삭기는 다양한 종류의 작업에 대한 높은 적용성과 경제성으로 인해 건설현장뿐 아니라 제조업, 농업, 해저영역 등 활동영역은 점점 확대될 것으로 예상되는 복합 기기이다. 한편 굴삭기를 이용하여 수행하는 평탄 작업, 덤핑 작업, 토사 작업 등의 작업들은 작업자가 많은 작업장치들을 동시에 조작하여야 하므로 고도의 숙련이 필요하므로 굴삭 작업의 정도나 작업효율은 작업자의 능력에 좌우된다고 할 수 있고, 비록 숙련자라 할지라도 장시간 조작할 때 상당한 피로를 느끼게 된다.

작업환경의 개선 및 작업효율 향상, 작업 편의성 및 안전 등의 요구조건들을 만족시킬 수 있는 방법 중 하나가 굴삭기의 자동화이고 이에 대한 많은 연구들이 이루어져 왔다. 캐나다의 British Columbia 대학이나 미국의 Carnegie Mellon 대학, 호주의 Sydney 대학 등이 있고 건설기계 업체들은 해외나 국내의 회사들 대부분이 자동굴삭기의 시제품 및 부분적인 제품화가 이루어져 있다.

자동굴삭에 대한 연구를 살펴보면 전체 논문의 약 56%가 굴삭기의 주행, 선회를 제외한 작업장치(붐, 암, 버켓)의 운동방정식 구축 및 제어기 개발에 집중되어 있고 유압회로는 복잡한 개구선도를 가지는 MCV를 단순 오리피스

* 임태형, 울산대학교 대학원 기계자동차공학과 (bulbaram@mail.ulsan.ac.kr)
주소: 680-749 울산광역시 남구 무거동 산 29번지
+ 울산대 대학원 기계자동차공학과
++ 울산대 기계자동차공학부
+++ 현대중공업(주) 건설기계사업본부

로 모델링하며 Holding valve나 Logic valve 등 복잡한 밸브에 대해서는 모델링이 이루어지지 않는 실정이나 작업장치에 대해서는 Lagrange-Euler 방정식에 기초한 운동방정식이 쓰이고 있다. 복잡한 개구선도 및 Dead Zone에 대한 밸브, 편로드 실린더, 중부하인 작업장치 등에서 비롯한 비선형성은 제어기로 극복하고 있는 실정이다.

새로운 제어 알고리즘의 개발이나 부품 개발의 실험은 반드시 실차실험을 동반하여야 하는 실정이나 일정 및 비용, 장소 등의 한계가 있으므로 유압회로에 비해 모델링 오차가 적은 작업장치에 대한 모델은 S/W로 대체하고 유압회로는 실제의 H/W를 이용한다면 실차실험을 실내에서 구현할 수 있는데 이것이 Hardware In the Loop System(HILS)이다.

본 논문에서는 굴삭기용 HILS의 기본 개념을 밝히고 개발의 첫 번째 단계인 AMESim을 이용한 유압회로의 모델링을 소개한다.

2. 굴삭기용 HILS

HILS의 개략도를 Fig.1.에 나타내었다. 작업장치를 구동하기 위한 유압회로를 그대로 쓰게 되고 작업장치의 동역학 모델은 Controller 내의 S/W로 대체되어 작업장치에 의해 발생한 힘을 Force Operating System에 의해 Boom Cylinder에 인가하게 된다.

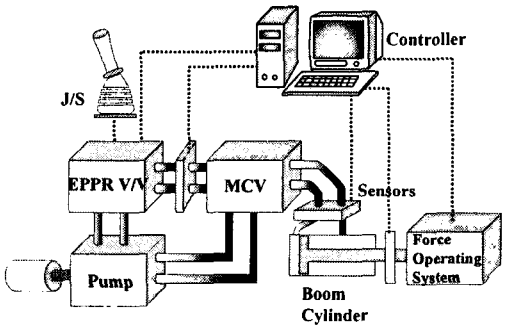


Fig.1. HILS의 개략도

Fig.2.에 HILS의 작동흐름을 나타내었다. Controller (PC)에서 기본 변수값을 입력하여 HILS를 구동하면 유압회로에서 Boom Cylinder를 작동시키고 실린더의 변위와 압력을 센싱하여 PC 내의 S/W로 신호를 보내 작업장치의 운동을 시뮬레이션을 통해 해석하여 Force Operating System을 구동해 Boom Cylinder에 부하를 가해주게 된다.

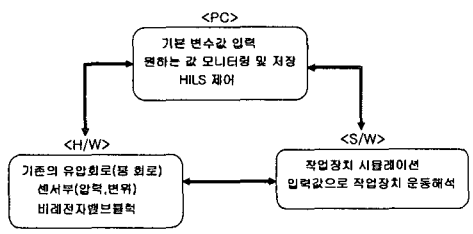


Fig.2. HILS의 작동흐름

3. 유압회로 모델링

Force Operating System의 사양선정을 위해서는 유압회로를 모델링하여 거동을 예측할 필요가 있다. 본 논문에서는 유압해석용 상용 S/W인 AMESim을 이용하였다.

굴삭기의 작업을 2차원 평면, 붐, 암, 버켓으로 한정할 경우 유압회로는 Fig.3.과 같다.

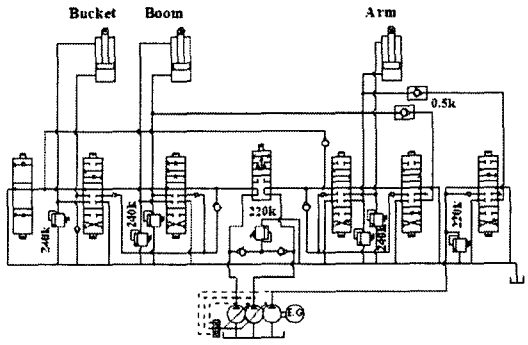


Fig.3. 굴삭기의 유압회로

HILS의 유압회로는 붐회로만을 이용하므로 붐을 작동하기 위한 유압요소만 모델링한다. 붐 실린더를 작동하기 위해서는 펌프에서 발생한 메인압을 붐1 밸브와 붐2 밸브를 통해 전달하게 되므로 모델링할 유압요소는 펌프, 조이스틱, 붐1 밸브, 붐2 밸브, 붐 실린더이다.

3.1 조이스틱

작업자가 조작하는 조이스틱은 작동각도에 대해 파일럿 압을 MCV 스풀로 보내는 역할을 한다. Fig.4.에 조이스틱의 AMESim 모델을 나타내었다. 점선 사각형 내부의 회로가 그림 내부의 조이스틱 모양으로 대표된다. 조이스틱의 변위를 -1에서 1사이의 신호로 입력하게 되면 A 포트 혹은 B 포트로 파일럿 압이 인가되거나 탱크로 압이 빠져나간다.

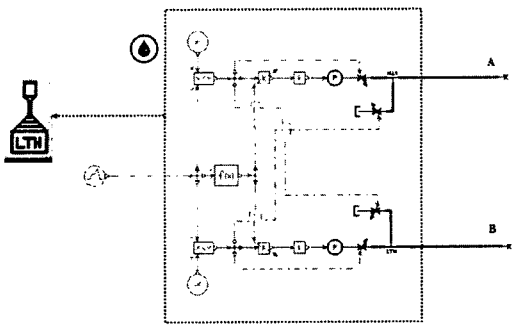
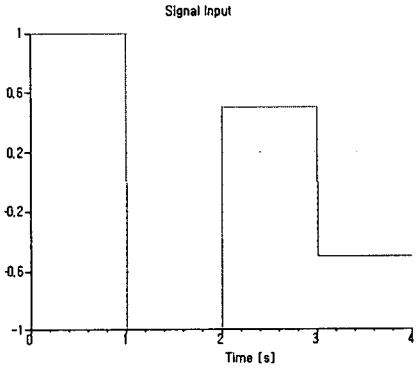
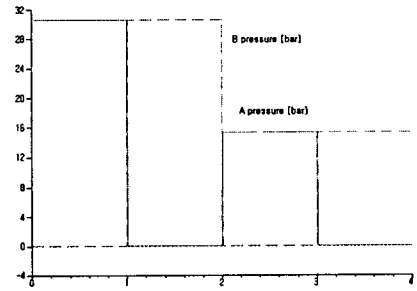


Fig.4. 조이스틱 AMESim 모델

Fig.5.는 입력신호를 인가했을 때(a) A,B 포트에서의 파일럿압(b)를 나타내었다. 지연시간 없이 입력신호에 대해 파일럿압이 완벽히 부가되고 있다.



(a)조이스틱 입력신호



(b)A,B 포트에서의 파일럿압

Fig.5. 조이스틱 AMESim 모델 결과

3.2 펌프

굴삭기의 펌프는 메인압을 형성하기 위한 2개의 가변펌프와 파일럿압을 형성하기 위한 1개의 고정펌프로 구성되며 가변펌프의 경우 에너지 절감을 위한 전마력 제어를 행하게 되고 이를 P-Q선도로 나타낸다. Fig.6.은 AMESim으로 모델링한 가변펌프이다. 모델 내에 P-Q 선도를 텍스트 파일 형식으로 삽입하는 형태로 모델링하였으므로 향후 다양한 P-Q 선도에 대한 펌프 모델에 대해 시뮬레이션이 가능하다.

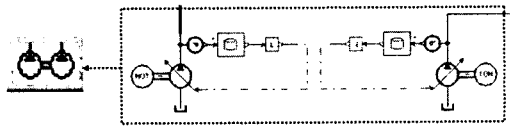


Fig.6. 펌프의 AMESim 모델

Fig.7.은 AMESim 모델의 시뮬레이션 결과로 P-Q 선도의 추종성능을 나타내었다. 실선이 삽입한 데이터이고 AMESim 모델의 결과는 점으로 표현하였다.

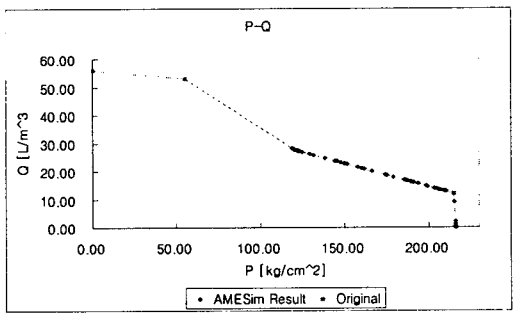


Fig.7. 펌프 모델 결과

3.3 붐1 밸브

붐 실린더의 방향과 속도를 결정하는 붐1 밸브는 by-pass 회로를 포함한 6port 3position 밸브이나 본 논문에서는 4port 3position 밸브로 모델링하였다.

작업자의 Feeling이나 유격, 성능 등을 위해 스풀 변위에 대한 개구면적 선도인 개구선도는 Dead zone, Saturation을 포함한 비선형적인 요소를 가지게 된다. 기존의 연구논문에서는 개구면적을 선형으로 모델링하거나 Dead zone만을 포함한 경우만 있었지만 본 논문에서는 비선형적인 개구선도를 텍스트 형식으로 삽입하였다. 이를 통해 개구선도의 변화에 대한 시스템 거동을 예측할 수 있는 시뮬레이터로서의 활용을 예측할 수 있다.

Fig.8.은 AMESim으로 모델링한 붐1 밸브이고 점선 내의 회로가 좌측의 밸브 모양 내에 삽입되었다. Fig. 9는 입력신호에 대한 스풀 변위이다. 조이스틱을 끝까지 작동하였을 때와 반쯤 작동하였을 때 스풀 변위가 이동함을 알 수 있다. Fig.10.은 스풀이 +,-로 이동하면서 붐 실린더의

Head와 Rod측의 Junction에서 유량이 섞일 것을 우려하여 결과를 살펴본 것으로 섞이지 않고 의도한 대로 유량이 흘러감을 알 수 있다.

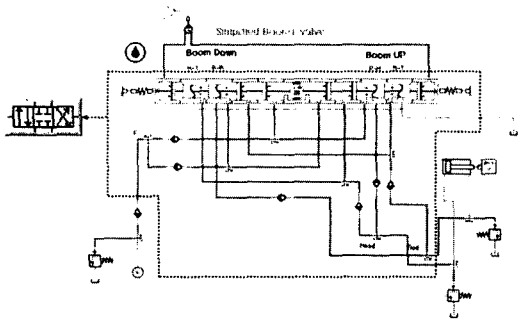
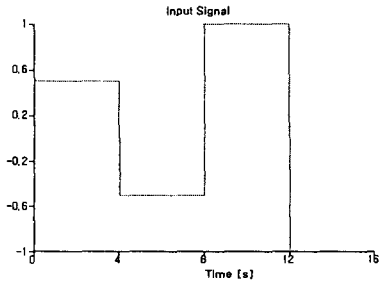
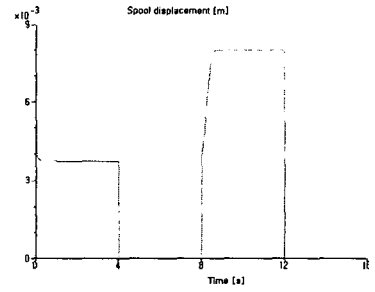


Fig.8. 붐1 밸브의 AMESim 모델



(a) 입력신호



(b) 스풀 변위

Fig.9. 입력에 따른 스풀 변위

Fig.11.은 밸브에 삽입한 개구선도와 출력값을 나타내었다. 붐 업시와 붐 다운시의 복잡한 개구선도를 입력하였을 때 정확히 추종함을 알 수 있다.

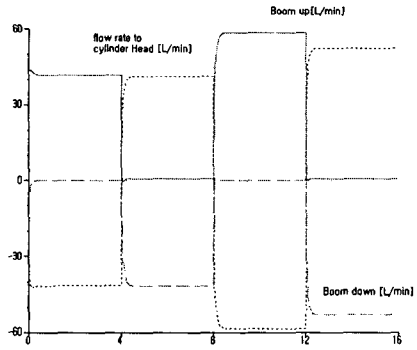


Fig.10.Junction에서의 유량

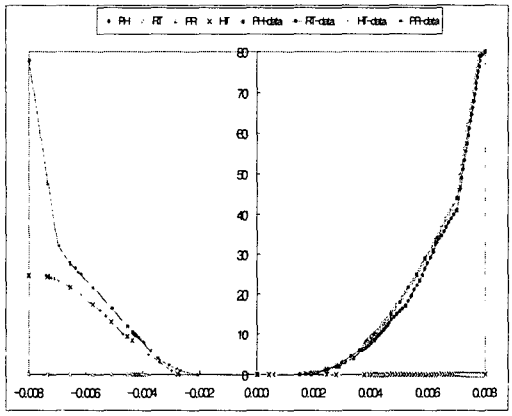


Fig.11. 붐1 밸브의 개구선도

3.4 붐2 밸브

붐2 밸브는 붐 업시에 부족한 유량을 보충하기 위한 역할함을 수행하므로 2port 2position 밸브로 모델링하였다.

Fig.12.는 붐2 밸브의 AMESim 모델이다.

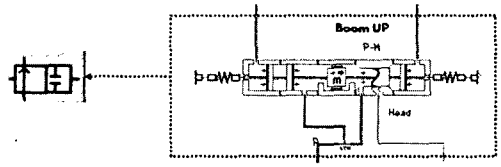
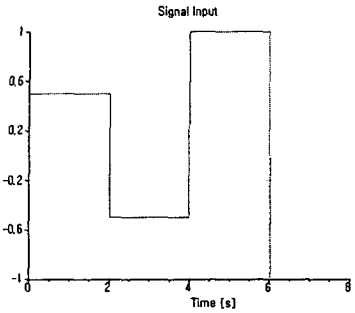
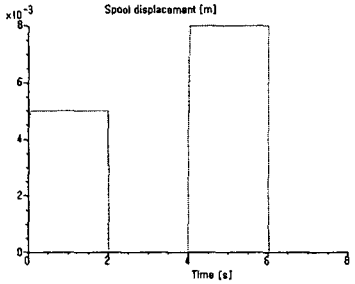


Fig.12. 붐2 밸브의 AMESim 모델

Fig.13.은 파일럿 압을 인가했을 때(a) 스풀 변위(b)이고 Fig.14.는 붐2 밸브의 개구선도 결과이고 이 역시 잘 추종하고 있다.



(a) 입력신호



(b) 스풀 변위

Fig.13. 입력에 따른 스풀 변위

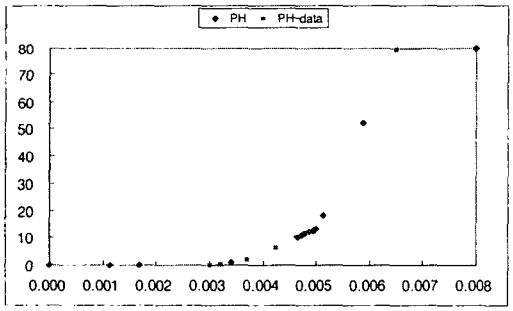


Fig.14. 붐2 밸브의 개구선도

3.5 붐 실린더

붐 실린더는 단순한 편로드 실린더로 모델링하였다.

3.6 전체 붐 회로

앞 절에서 모델링한 각 요소를 결합하여 붐 회로를 구성한 것을 Fig. 15에 나타내었다. P-Q 선도의 영향을 보기 위해 P-Q 선도가 삽입된 AMESim 모델과 고정 펌프 모델을 병렬로 연결하여 구성하였다.

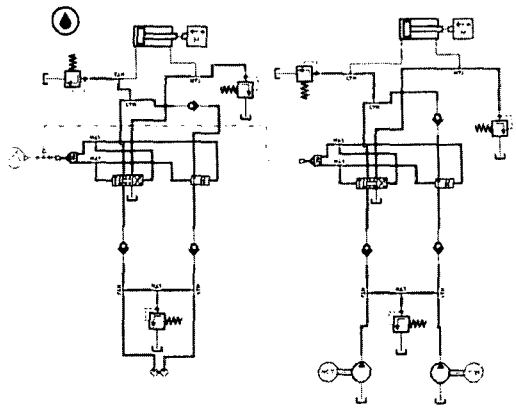
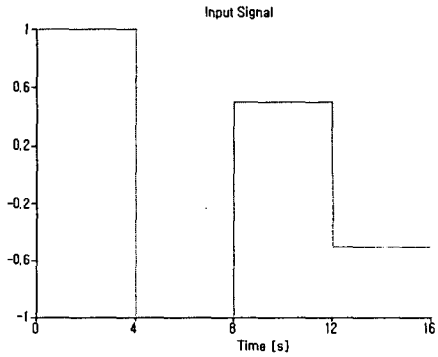
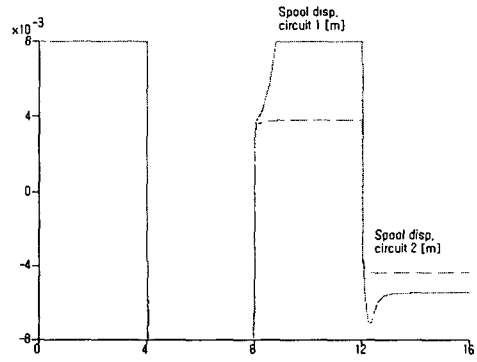


Fig.15. 전체 붐 회로

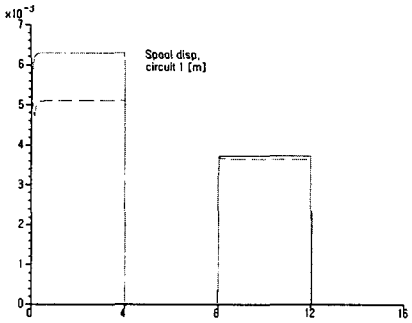
입력신호(a)를 주었을 때 붐1 밸브의 스풀 변위(b)와 붐2 밸브의 스풀 변위(c)를 Fig.16.에 나타내었다.



(a) 입력신호



(b) 붐1 밸브의 스풀 변위



(c) 붐2 밸브의 스풀 변위

Fig.16. 입력신호에 따른 밸브 스풀 변위

Fig.17.에 두 회로에 의한 붐 실린더의 변위를, Fig.18에 실린더의 압력을 나타내었다.

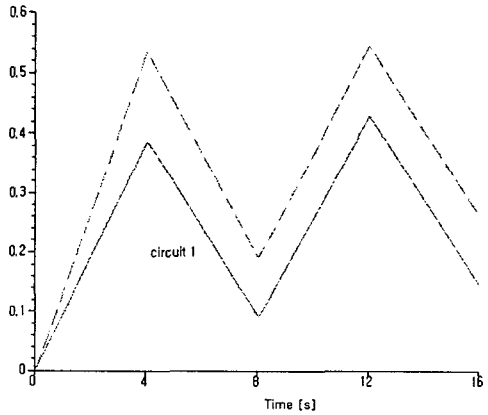
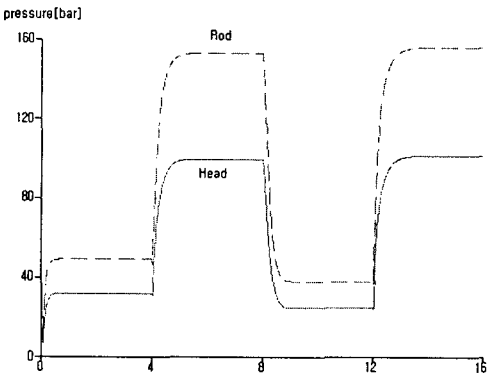
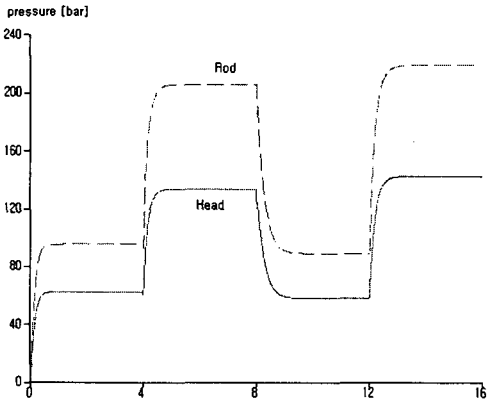


Fig.17. 실린더 변위



(a) circuit 1



(b) circuit 2

Fig.18. 실린더 압력

4. 결론 및 향후계획

굴삭기용 HILS 개발의 처음 단계로서 AMESim을 이용한 유압회로를 모델링하였다. 향후 작업장치에 대한 MATLAB 모델을 구축하여 AMESim-MATLAB interface 모델을 개발할 예정이다. interface 모델은 굴삭기 시뮬레이터로 활용 가능하며 Force Operating System 사양 선정에 활용된다. 사양 선정이 완료된 후 HILS를 구축할 예정이다.

후 기

본 연구는 과학기술부-한국과학재단 지정 울산대학교 기계부품 및 소재 특성 평가 연구 센터, (주)현대중공업의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

(1) S.Y.Yang etc. "A Study on Trajectory Tracking Control of Field Robot", ICASE, Vol8,No.9, 2002.

(2) "AMESim user Manual", IMAGINE, 2000.

(3) T. Morita, Y. Sakawa, "Modeling and Control of a Power Shovel", 計測自動制御學會論文集, Vol.22, No.1, pp.69-75,1986.