

고효율 사출성형기의 에너지 절감 및 성형 재현성 연구

황철진[#] · 김종선¹ · 정철^{1,2} · 안희정³ · 허영무¹ · 김종덕¹ · 윤경환²

The Energy Saving and the Reproducibility of Highly-Efficient Injection Molding Machine

C. J. Hwang, J. S. Kim, C. Jeong, H.-J. An, Y. M. Heo, J. D. Kim, K. H. Yoon
(Received November 3, 2008)

Abstract

Because of steep rise of international energy cost in recent years, high efficiency has been emphasized in energy policy. As far as injection molding machine is concerned, hybrid method using hydraulic and electric systems became the key to this energy saving. The energy saving and molding reproducibility of hybrid injection molding process were shown experimentally. The power consumption of hybrid injection molding machine is reduced to 38% as compared with that of hydraulic machine. Furthermore, the molding reproducibility was shown for both methods.

Key Words : Hybrid Injection Machine, Energy Saving, Molding Reproducibility

1. 서 론

최근 플라스틱 수지로 제품을 성형하는 사출성형기에 있어 에너지 절감이라는 측면이 더욱 크게 부각되고 있는 가운데 기존의 Hydraulic(이하 유압식) 사출성형기의 장점과 전동식 사출성형기의 장점을 접목한 Hybrid(이하 하이브리드) 사출성형기의 관심이 높아지고 있으며, 여러 사출성형기 생산 업체에서는 이러한 하이브리드 사출성형기의 효율을 높이기 위해 다양한 방식을 시도하고 있다. 유압펌프를 이용하는 장치에 있어 가변 용량형피스톤 펌프를 사용하는 것이 정토출 유압펌프를 사용하는 것보다 유압장치 자체의 과부하를 방지하며 낭비되는 에너지를 극소화할 수 있고[1~3], 사출성형기 등 여러 유압설비를 사용하는 장비에 있어서 일정유량을 공급하는 펌프를 사용하면 펌프를 구동하는 전기모터에 공급되는

전기 에너지의 62% 이상이 열 손실로 나타난다고 하였다[4].

본 논문의 실험에서 사용한 고효율 하이브리드 사출성형기(㈜선우중공업)는 기존의 유압식 사출성형기의 구동부에 “회전수 조절형 사출성형기 유압장치[5]”를 응용한 하이브리드 타입의 사출성형기이다. 본 논문에서의 실험은 이러한 고효율 하이브리드 사출성형기의 개발을 목적으로 에너지 절감과 성형 재현성 연구에 중점을 두었다. 또한 기존의 유압식 사출성형기와 비교하기 위해 고효율 하이브리드 사출성형기와 동일한 사양(110ton)의 유압식 사출성형기(㈜선우중공업, MMCⅡ110)를 이용하여 전력 측정 실험을 수행하였고, 동일한 사출성형조건으로 사출성형된 성형품의 무게 측정을 통하여 고효율 하이브리드 사출성형기의 성형 재현성 확인 실험을 수행하였다.

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
2. 단국대학교 기계공학과
3. ㈜ 선우중공업 부설연구소
교신저자: 한국생산기술연구원 정밀금형팀,
E-mail: cjhwang@kitech.re.kr

2. 고효율 하이브리드 사출성형기

플라스틱을 원재료로 사용하여 생활에 쓰이는 다양한 제품을 생산하는 사출성형기는 생산현장에서 24시간 가동되기 때문에 에너지 소비가 많으며, 특히 석유화학제품인 작동유로 압력을 발생시켜 주동력원으로 사용하는 유압식 사출성형기의 경우 친환경적이지 못한 생산 기계이다.

이러한 사출 성형기의 개발은 최근 IT 산업의 발달과 친환경정책 및 고효율(에너지 절감)정책에 부응하기 위해 정밀하며 친환경적인 대량 생산기종으로 바뀌고 있다.

이에 적합한 모델은 유압을 사용하지 않고 각 구동부를 서보 모터로 작동하여 소비전력(에너지) 절감, 정밀성 향상을 실현한 전동식 사출성형기이다. 그러나, 전동식 사출성형기는 고속, 고압화의 구현에 대한 부담과 고가의 전동모터 사용에 따른 제조원가의 상승, 유지보수비용의 상승이라는 단점이 있고, 기존의 유압식 사출성형기에 비해 인버터 등의 외부기기를 이용하여 에너지를 절감하는 방식은 주파수 제어방식이기 때문에 사출성형기의 성능을 떨어뜨려 생산성 저하의 원인이 되기도 한다.

본 논문에서 사용한 고효율 사출성형기는 기존 유압식 사출성형기의 구동부에 “회전수 조절형 사출 성형기 유압장치[5]”를 응용한 하이브리드 사출성형기(㈜선우중공업)이다. 기존 유압식 사출성형기의 구동부는 3상 유도 전동기(1,200RPM)와 정도출 유압펌프를 사용하며, 형개·폐, 이젝팅(ejecting)동작 등 실제 유량이 필요한 동작을 포함한 사출성형 전체 공정에 지속적으로 유량을 공급하는 방식이다. 하지만, “회전수 조절형 사출성형기 유압장치[5]”는 구동부에 동급 전력의 3상 유도 전동기 대비 약 1.5배 이상의 효율을 발휘하는 AC 서보모터(1,800~2,000RPM)와 양방향 정도출펌프를 사용하며, 형개·폐, 이젝팅, 사출, 노즐터치 동작 등 실제 유량이 필요한 동작에서만 유량을 공급하는 에너지 절감 시스템이다. 고효율 사출성형기는 이러한 “회전수 조절형 사출성형기 유압장치[5]”의 양방향 정도출펌프를 사출 성형기의 구동특성(고속저압, 저속 고압동작) 구현에 적합한 가변 용량형 피스톤 펌프(variable displacement piston pump)로 대신하는 응용방식이다. Fig. 1 에 고효율 사출성형기의 사진을 제시하고 있으며, Fig. 2 에 본 실험에서 사용한 사출성형기의 유압장치

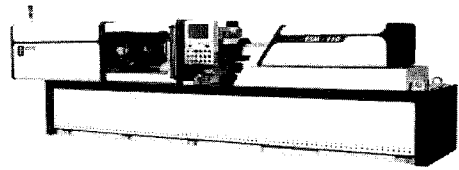


Fig. 1 High efficiency injection molding machine (MS110-HB)



Fig. 2 AC servo motor and variable displacement piston pump of high efficiency molding machine

구동부 부품인 AC 서보모터와 가변 용량형 피스톤 펌프의 그림을 각각 나타내었다.

가변 용량형 피스톤펌프는 사출성형기의 유압 시스템에서 유량과 압력을 공급하는 장치로, 모터의 회전과 피스톤의 왕복운동이 동시에 이루어지는 펌프이며, Fig. 3 에 그 단면도를 나타내었다. 에너지 절감과 사출성형기의 구동특성(고속저압, 저속고압동작)을 구현하기 위한 서보모터와의 구동원리는 Fig. 3 에 제시한 것처럼 경사판(swash plate), (a)과 연결된 축(b)에 서보모터를 연결하고, 서보모터의 회전수를 전용드라이버로 제어하며, 서보모터의 회전수 조절로 공급되는 유량을 조절한다. 유량의 조절은 경사판의 각을 조절하며, 경사판의 각은 발생하는 압력의 크기를 결정한다. 특히, 고속의 회전수에서는 유량의 증가로 경사판이 수직에 가까워지며, 수직에 가까워진 경사판에 의해 피스톤의 왕복 운동 시 압축비가 줄어들게 되어 저압이 발생하게 되고, 저속의 회전수에서는 유량의 감소로 경사판의 각이 Fig. 3 의 그림에서 처럼 작아지게 되고, 작아진 경사판의 각에 의해 피스톤의 왕복 운동 시 압축비가 커지게 되어 고압이 발생된다. 즉, 사출성형기의 구동특성(고속저압, 저속고압 동작)을 구현하기에 적절한 동작이다. 이러한 펌프의 동작은 앞서 말한 유량이 필요한 작동에서만 발생하기 때문에 에너지를 절감(소비전력 \propto 공급되는 유압을 형성시키는 모터의 회전수)할 수 있다. 또한 유량과 유압을 동시에 제어하기 때문에 별도의 유압 제어밸브를 설치할 필요가 없다.

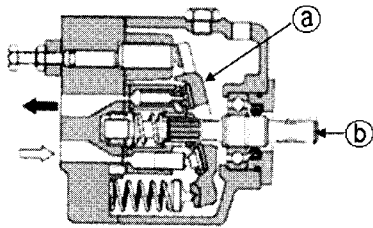


Fig. 3 Sectional view of variable displacement piston pump (a : swash plate, b : connection axial)

3. 사출 성형을 통한 전력 측정 실험

본 실험은 고효율 하이브리드 사출성형기(㈜선우중공업)의 에너지 절감 확인을 위해 실제 사출 성형품의 양산공정과 같은 사출 성형 과정으로 성형 실험하면서 전력측정을 통한 소비 전력 특성을 파악하고, 동일한 형체력(110ton)의 유압식 사출성형기(㈜선우중공업, MMC II 110)와 도광판 형태의 사각판 금형을 이용하여 동일한 성형조건으로 성형하였으며, 동일한 전력 측정방법으로 전력 측정 실험을 수행하였다.

3.1 고효율 하이브리드 사출성형기와 유압식 사출성형기의 전력소모량 측정

본 실험에서 전력소모량 측정 시 사용한 전력 측정기는 사출성형기의 입력전원(3상 380V, 120A, 60Hz)을 측정 하기에 적합한 측정 범위(0~600V, 0~500A, 45~65Hz)를 가진 일본 KYORITSU 사의 KEW6310 모델로, 전력소모량 측정 시 1 회당 측정의 간격은 10 초로, 매 10 초마다 적분하여 합산하는 방법으로 측정하였고, Fig. 4(a)에 나타내었다. 또한 전력소모량 측정을 하기 위한 사출성형 시 사용한 수지는 삼성토탈의 폴리프로필렌(Polypropylene : PP, HI831)으로 고유동성과 고강성이 그 특징이며 박판 부품생산에 적합한 수지이다. 사출성형 실험 시 설정한 성형조건은 수지온도 200℃, 금형온도(금형온도 조절기의 설정값) 40℃, 사출시간(filling time) 0.3 초, 보압시간 1 초, 냉각시간 15 초로 하여 전체 사이클 타임이 16.3 초이다. 사출성형 실험 시 사용한 금형은 2.2inch, 1cavity 의 두께 1mm 인 사각판 금형을 사용하였고, Fig. 4(b)에 성형품의 사진을 Fig. 4(c)에 성형품의 크기를 나타내었다. 전력소모량 측정은 위에서 설명한 성형조건으로 두 시간 동안 성형하면서 분당 전력소모량과 누적전력소모량을 측정하였고, Fig. 5에 측정 개략도

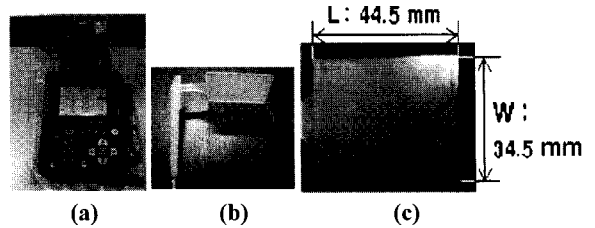


Fig. 4 (a) Power consumption measuring device (KEW6310), (b) injection molded part, (c) the dimension of molded part

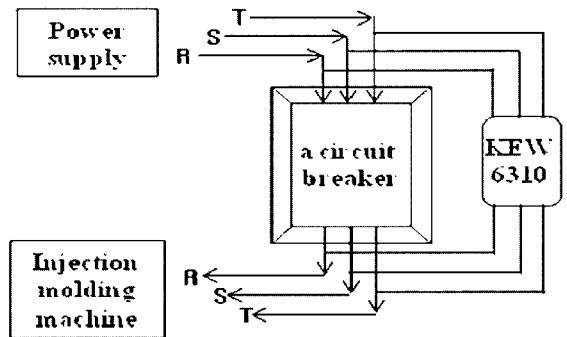
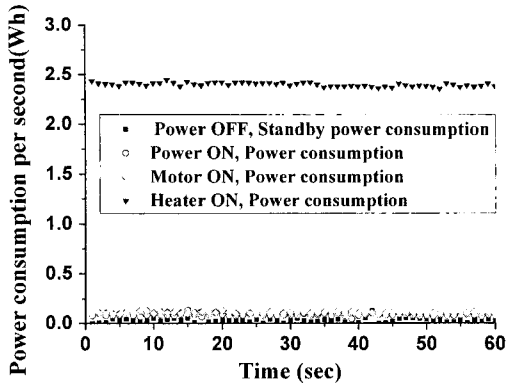


Fig. 5 Schematic diagram of power consumption measuring system

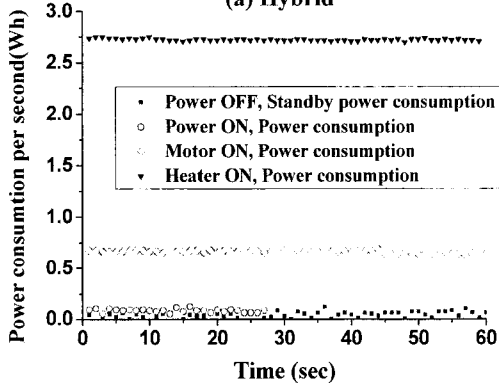
를 나타내었다.

고효율 하이브리드 사출성형기의 전체적인 소비 전력량을 측정하기에 앞서 하이브리드 사출성형기의 소비전력 특성을 파악하기 위해 무부하 상태(idle state, 사출 성형을 하지 않고 단순히 주 전원만 켜놓은 상태)에서 전력이 소모되는 각 부분에 전원을 켜고 끄는 동작(주전원, 모터 전원, 히터 전원 등을 켜고 끄면서)을 실시하면서 변화되는 전력을 측정하여 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)를 비교해 보면, 고효율 하이브리드 사출성형기의 경우, 유압장치의 구동부에서 사출이나 형폐를 위한 동작 등 실제로 유압이 사용되는 공정에서만 서보모터에 의해 경사진판의 각 조절로 유압을 형성하고, 제어하는 특징 때문에 모터를 켜놓더라도 실제 사출이 진행되지 않으면 전력이 소비되지 않는 것을 확인할 수 있었고, 일반 유압식 사출성형기(㈜선우중공업, MMC II 110)의 경우 구동모터의 전원을 켜놓기만 하더라도 전력이 소비되는 특성을 확인할 수 있었다.



(a) Hybrid



(b) Hydraulic

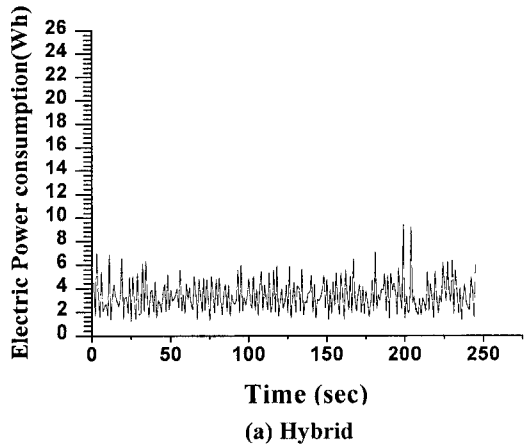
Fig. 6 Electric power consumption characteristics of injection molding machines at idle state

고효율 하이브리드 사출성형기의 에너지 절감 효과를 확인하기 위해 일반 유압식 사출성형기와 함께 앞서 설정한 성형조건으로 성형하면서 수행한 2 시간 동안의 전력소모량 측정결과를 Table 1에 나타내었고, 매 10 초당 소비전력량의 변화를 Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)에 나타내었다

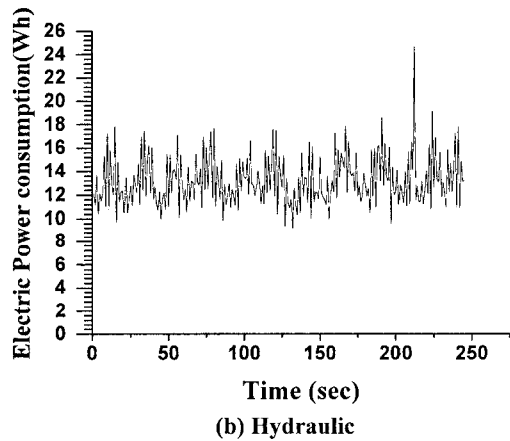
Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 10 초당 소비되는 전력량의 변화를 나타낸 것으로 두 사출성형기가 소비하는 전력량의 차이를 확연히 알 수 있으며, 하이브리드 사출성형기의 경우 약 0.3~0.5Wh/sec, 일반 유압식 사출성형기의 경우 1.2~1.4Wh/sec 로 하이브리드 사출성형기에 비해 일반 유압식 사출성형기의 10 초당 소비전력량이 3 배 정도 소모되는 결과를 얻게 되었다. Table 1 은 사출 성형 실험을 수행하는 동안 측정된 전체 전력소모량의 적산값을 나타내는 결과이다. 하이브리드 사출성형기는 3,654Wh, 유압식 사출성형기는 9,508Wh 가 소모

Table 1 Power consumption comparison between hybrid and hydraulic injection molding machines

	Power Consumption (Wh)	Rate of Power consumption
Hybrid	3,654	38 %
Hydraulic	9,508	100 %



(a) Hybrid



(b) Hydraulic

Fig. 7 Electric power consumption per 10 second during injection molding process

되는 것으로 측정되었으며, 유압식 사출성형기의 전력소모량을 100%로 하였을때, 하이브리드 사출성형기의 전력소모량은 38.4% 수준으로 유압식 사출성형기에 비해 하이브리드 사출성형기의 뛰어난 에너지 절감효과(약 62% 절감)를 확인할 수 있는 결과를 얻게 되었다.

4. 사출 성형을 통한 성형 재현성 평가

성형 재현성의 평가는 두 부분으로 나누어서 수행하였다.

첫째는 cushion(이하 쿠션) 위치 데이터 분석을 통한 사출성형기 자체의 성형 재현성 평가이다. 쿠션은 사출이 종료된 이후 스크류의 위치 허용 구간으로, 보압의 전달에 있어 중요한 요소로 작용한다. 매 사이클(cycle)마다 쿠션위치가 일정하다는 것은 보압을 일정하게 줄 수 있다는 것을 의미하며 사출성형기의 위치 조절 성능을 알 수 있는 기본적인 요소이므로, 사출성형기의 성형 재현성 평가를 위한 기준으로 사용하였다.

둘째는 성형품의 무게 측정 및 육안식별을 통한 성형 재현성 평가이다. 성형 재현성 평가에 사용한 성형품은 성형 실험 시 성형조건의 안정화 후(성형 시작 30분 후의 무작위 추출한 30개)의 것이다.

4.1 고효율 하이브리드 사출성형기와 유압식 사출성형기의 성형재현성 평가

고효율 하이브리드 사출성형기의 성형기 자체의 성형 재현성 평가를 위해 사출 성형 실험시 사출성형기에 기록된 전체 사출 성형품의 생산기록 중 쿠션위치의 데이터를 Fig. 9 에 나타내었는데 설정 위치(1mm)와 실제 기록된 위치의 차이가 ±0.1mm 임을 알 수 있다.

사출 성형된 성형품의 불량(미성형: short shot, 수축: shrinkage, 휨: warpage, 흐름자국: flow mark 등) 확인을 위해 육안식별평가를 수행하였으며, 성형품의 사진을 Fig. 8 에 나타내었다.

또한 성형품을 통한 성형 재현성 평가를 위해 두 사출성형기에서 실험한 성형품의 무게 측정 결과를 Fig. 10(a)와 Fig. 10(b)에 나타내었는데, 하이브리드 사출성형기의 경우 무게의 평균이 3.828 g(표준편차 0.003g), 유압식 사출성형기의 경우 무게의 평균이 3.827g(표준편차 0.0029g)이었다.

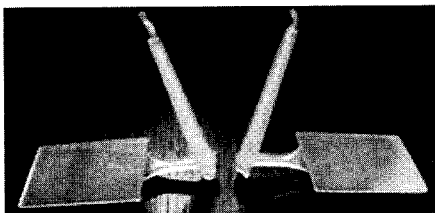


Fig. 8 Injection molded parts (Left : Hybrid, Right : Hydraulic)

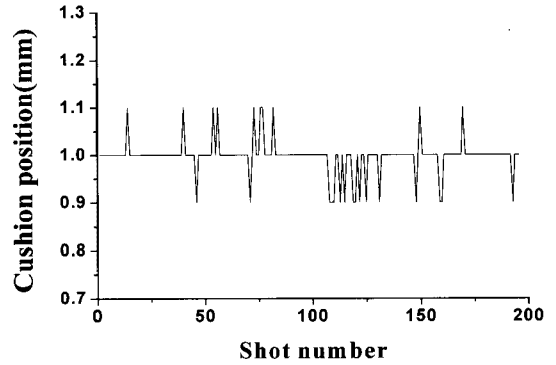
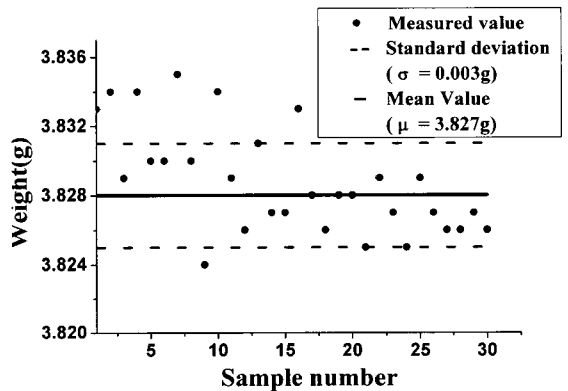
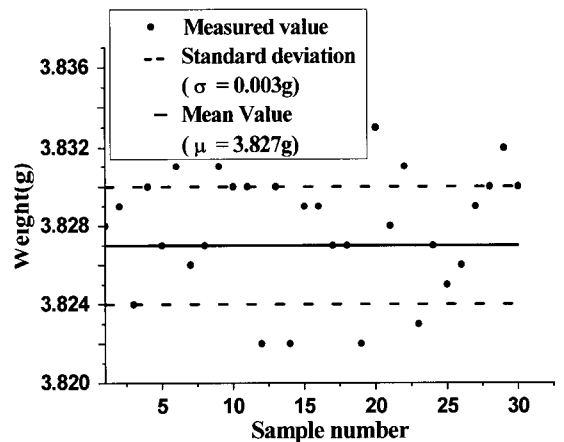


Fig. 9 Cushion positions of hybrid injection molding machine



(a) Hybrid



(b) Hydraulic

Fig.10 Measured weight of injection molded parts

이러한 성형품의 무게 평균의 차이와 각 평균에서의 표준편차의 차이는 두 사출성형기간의 성형 재현성이 동일한 수준임을 명확하게 보여주는 결과이며, 각 샘플간의 편차는 그래프로 나타내었다.

5. 결 론

본 실험에서는 고효율 하이브리드 사출성형기의 에너지 절감 확인과 성형 재현성을 확인하기 위하여 하이브리드 사출성형기와 동일한 사양(110 ton)의 유압식 사출성형기를 이용하여 동일한 성형조건, 동일한 전력 측정 방법으로 실험하였고, 그 결과들을 비교하여 아래와 같은 결론을 얻게 되었다.

(1) 고효율 하이브리드 사출성형기의 경우 유압식 사출성형기와는 달리 구동부의 유압장치를 가변 피스톤펌프로 채택하여 소비전력량이 유압식 사출성형기에 비해서 현저하게 감소하는 결과(약 62% 절감)를 얻게 되었다.

(2) 고효율 하이브리드 사출성형기의 성형 재현성은 성형품의 무게 측정을 통하여 각각의 평균과 표준편차를 비교한 결과 유압식 사출성형기의 성형 재현성과 동일한 수준이라는 결과를 얻게 되었다.

후 기

본 연구는 “Direct Writing 기법을 이용한 미소부품 제조기술개발(No.08-EB-1-001)” 및 “초박형 광

학부품용 고속사출성형기 부품기술 모니터링 시스템기술지원” 과제의 지원으로 진행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] S. H. Cho, W. S. Kim, 2000, A study on Hydraulic Control Characteristics of a Swashplate Type Axial Piston Pump-regulator System by Linearization Analysis, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers(A), Vol. 24, No. 10, pp. 2535 ~2542.
- [2] S. J. Kim, Y. M. Koo, 2005, Case Studies of Energy Saving in Industrial Hydraulic System, Journal of the Korea Fluid Power System Society, Vol. 2, No. 2, pp. 21~25.
- [3] K. K. An, 2005, A Study on the Energy Saving Hydraulic Control System Using Hydraulic Pump/Motor, Journal of the Korea Fluid Power System Society, Vol. 2, No. 2, pp. 8~12.
- [4] Y. S. Hong, 2002, The main tendency of Hydraulic technology, Automation system, Vol. 6, pp. 2~4.
- [5] Sun woo Heavy Industries Co., 2005, Injection Machines Hydraulic devices Control type of Rotation, Korea Intellectual Property Office, Patent No. 0509380.