

압력예측기법과 직접순시토크제어기법을 통한 유압펌프용 SRM의 압력제어구동

李東熙*, 石昇勳**, 梁嘉寧***, 安珍雨†

Pressure Control of Hydraulic Pump using SR Drive with Pressure Predict and Direct Torque Control Method

Dong-Hee Lee, Seung-Hun Seok, Jianing Liang and Jin-Woo Ahn

요 약

본 논문에서는 압력예측기법과 직접 순시토크 제어기법을 통한 유압펌프용 SRM의 압력제어 구동시스템을 제안하였다. 일반적으로 유압 펌프 시스템은 유압센서의 응답성으로 인하여 제어시스템의 시지연이 비교적 길어지게 되며, 이러한 시간지연은 PI 또는 PID 제어 구조에서 장시간의 진동과 불안정화를 만들기 쉽다. 본 논문에서는 시간지연문제를 해결하고 리플이 없는 압력제어를 위하여 스미스 예측기(smith predictor)를 통한 지연보상과 직접 순시토크제어기법(Direct Instantaneous Torque, 이하 DITC)을 적용하였다. 제안된 제어 방식은 펌프와 센서간의 기구적 문제에 의한 지연문제 해결과 안정성을 확보하고, 펌프 압력제어의 동특성을 향상시키며 전류(轉流, commutation) 구간에서 균일한 토크를 발생시켜 토크 리플을 억제하기 위함이다. 제안된 제어방식은 시뮬레이션과 실험을 통하여 효용성을 검증하였다.

ABSTRACT

Pressure control of hydraulic pump using SRM with pressure predictor and direct torque control method is presented in this paper. Nowadays, high efficiency and high performance motor drive is much interested in hydraulic pump system. But the hydraulic pump system has an inherent defect that its dynamic behavior causes by interaction between the sensor and hydraulic load. It will make low performance of whole system, even unstable and oscillatory.

Proposed system integrates pressure predictor and direct instantaneous torque control (DITC). The pressure predictor includes Smith predictor, which is easy to improve unstable or long oscillation in traditional negative feedback control and popular PID control architectures. And DITC method can reduce inherent torque ripple of SRM, and develop smooth torque to load, which can increase stability and improve the torque response of SR drive. So high dynamic performance and stabilization can achieved proposed hydraulic system. At last, the proposed hydraulic system is verified by simulation and experimental results.

Key Words : Hydraulic pump, SRM(Switched Reluctance Motor), Pressure Predict, Direct Torque Control

1. 서 론

†교신저자 : 정회원, 경성대 전기전자메카트로닉스공학부 교수
E-mail : jwahn@ks.ac.kr

*정회원, 경성대 전기전자메카트로닉스공학부 조교수

**학생회원, 경성대 대학원 전기공학과 석사과정

***정회원, 경성대 대학원 산업시스템공학과 박사과정

접수일자 : 2007. 12. 31 1차 심사 : 2008. 1. 31

2차 심사 : 2008. 3. 6 심사완료 : 2008. 3. 11

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM)는 간단한 구조, 높은 출력비, 넓은 속도범위 및 우수한 기동 특성 등의 장점을 가진다.

따라서 높은 속응성을 필요로 하는 유압 펌프 시스템에서의 적용이 유리하다.^[1-3]

일반적으로 유압 펌프 시스템은 유압센서의 응답성으로 인하여 제어시스템의 시지연이 비교적 길어지게 된다^[3-4]. 이러한 긴 시간지연은 일반적인 PI 또는 PID 제어 구조에서 장시간의 진동과 불안정화를 만들기 쉽다. 따라서 시스템의 제어정수 설정이 어렵게 되어 제어기의 설계가 어렵고, 전체 시스템의 안정성 저감의 원인이 될 수 있다.

이와 함께 상의 개별적인 스위칭을 통한 토크 발생 메카니즘으로 인해 SRM에서는 토크 리플이 다른 전동기에 비해 크다는 단점을 가지고 있다. 따라서 전동기와 연결된 펌프의 구동에 영향을 주게 되므로 압력의 리플이 발생할 수 있는 문제를 가진다. 또한 일반적인 제어기법을 사용할 경우 이에 필요한 제어이득을 결정하는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 유압 펌프 시스템에서 측정압력의 시간 지연문제를 해결하고 리플이 없는 압력제어를 위하여 스미스 예측기(simth predictor)를 통한 지연보상과 직접 순시토크제어기법(Direct Instantaneous Torque, 이하 DITC)을 적용하였다. 제안된 제어 방식은 펌프와 센서간의 기구적 문제에 의한 지연문제 해결과 안정성을 확보하고, 펌프 압력제어의 동특성을 향상시키며 전류(轉流, commutation) 구간에서 균일한 토크를 발생시켜 토크 리플을 억제하기 위함이다. 제안된 구동방식은 시뮬레이션과 실험을 통하여 효용성을 검증하였다.

2. 제안된 유압펌프용 압력제어구동

2.1 순시토크제어를 통한 압력리플 저감

일반적으로 기어방식의 유압 펌프의 경우 회전력 및 회전속도에 따른 압력의 생성량이 비례하는 관계를 나타내게 된다. 따라서 펌프에 연결된 전동기의 토크에 리플이 발생할 경우 이에 따른 압력의 리플이 발생하게 된다. SRM의 경우 토크 발생기구상 각 상의 개별 스위칭으로 토크를 발생시키므로 이에 따른 토크의 리플이 존재하고, 유압펌프시스템에 적용할 경우 압력 역시 리플을 가지게 된다. 이를 본 논문에서는 DITC를 적용하여 토크의 리플을 감소하고자 하였다. 특히 DITC는 히스테리시스 제어를 기반으로 한 간단한 규칙을 이용한 기법이므로 적용의 용이성 역시 가지게 된다^[5].

그림 1은 SRM에 DITC를 적용하기 위해 인덕턴스

변화에 따른 DITC의 제어영역을 설정한 것이며, 그림 2는 각 구간에서 적용되는 제어규칙을 나타낸 것이다. 그림 1에서 효과적인 토크 제어를 위해서 인덕턴스의 변화와 각 상간의 전류(commutation) 구간을 고려하여, 구조적으로 3개의 영역(Region 1 ~ Region 3)으로 구분되었다.

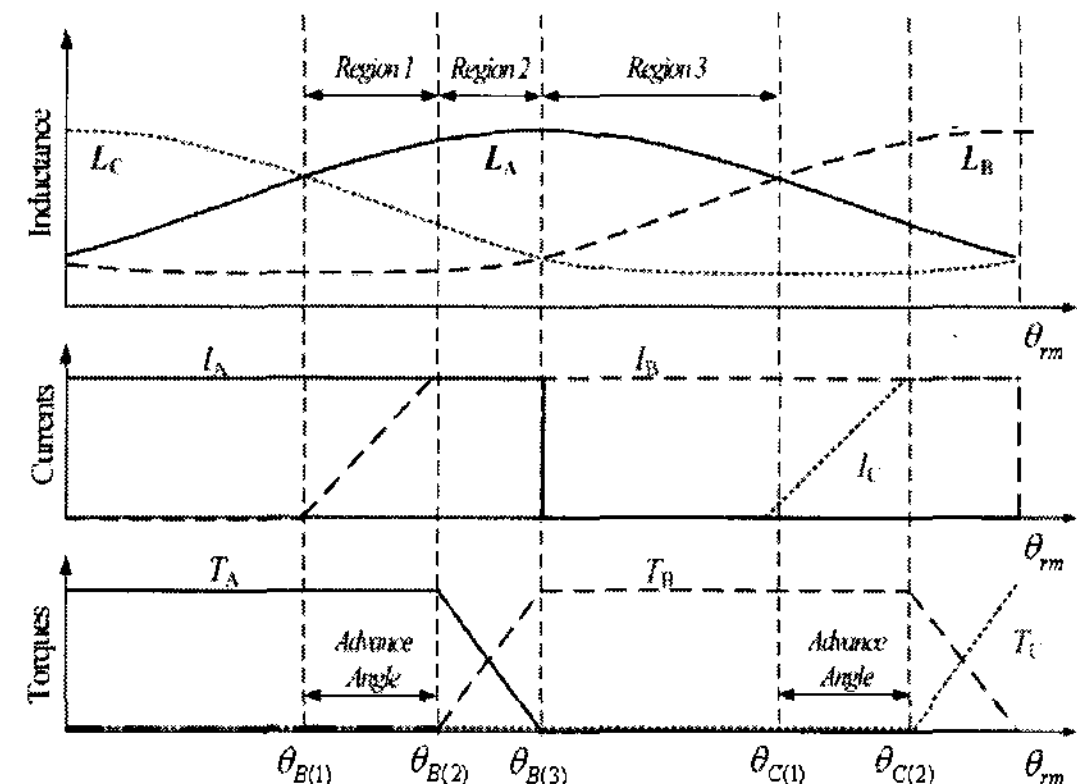
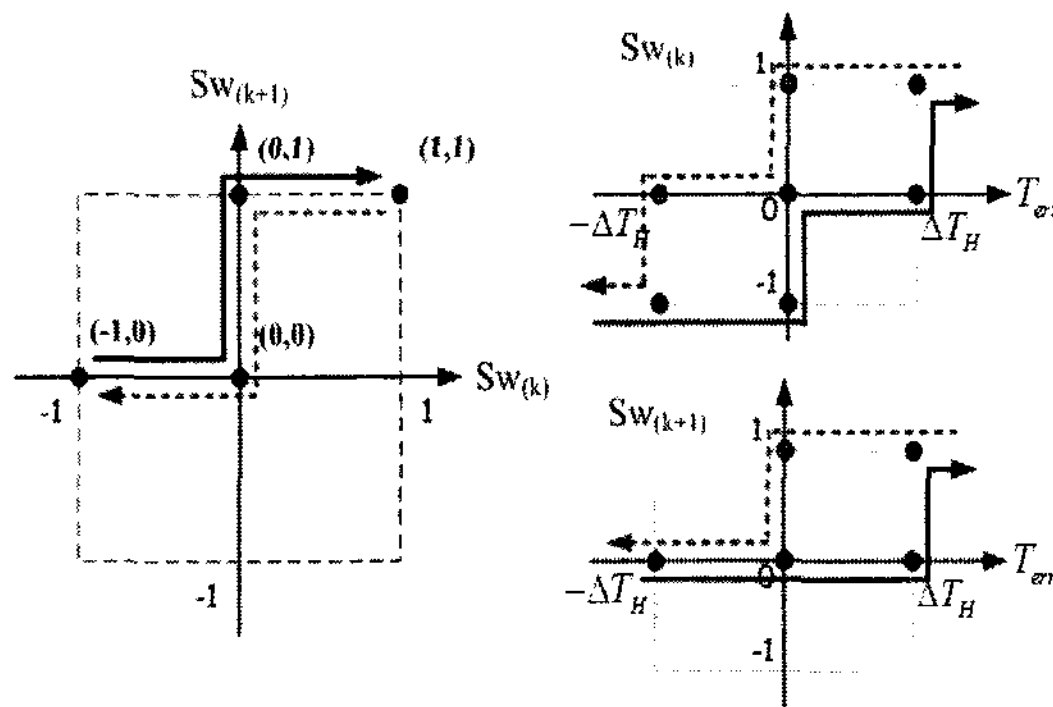


그림 1 DITC 적용을 위한 인덕턴스의 구분
Fig. 1 Inductance regions for DITC application of SRM

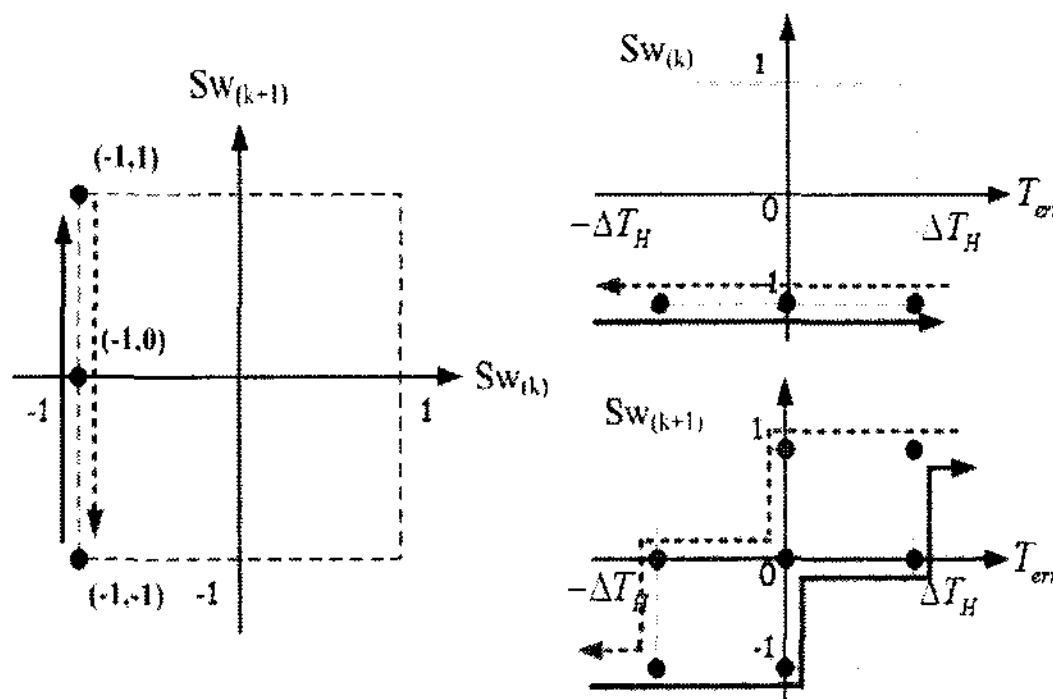
그림 1의 Region 1은, 현재 여자상의 전류에 의해 SRM의 토크가 형성되며, 다음 여자 상의 전류 확립을 위한 어드밴스(Advance) 구간을 의미한다. 이 구간에서 현재 여자상은 주 토크를 제어하기 위해서 스위치의 상태를 여자상태(state 1), 윌링 상태(state 0) 및 감자 상태(state -1)를 교번하며 제어하게 된다. 또한, 어드밴스 영역에 있는 다음 여자 상은 토크 오차가 양인 상태에 대해서 턴-온 상태로 여자 전류를 확립하는 동작을 수행한다. Region 2는 현재 상의 스위치가 턴-오프 하여 감자하는 전류구간으로, 현재 상과 다음 상의 여자 전류에 의해 토크가 발생한다. 이 구간에서 현재 여자상의 스위치 상태 $Sw_{(k)}$ 는 턴-오프 하여 빠른 상태로 전류를 소호 시키고, 다음 상의 스위치 상태 $Sw_{(k+1)}$ 에 의해 토크 제어가 수행된다. Region 3은 여자 상의 전류가 완전히 일어난 구간으로, 이전 상의 스위치 상태 $Sw_{(k)}$ 는 턴-오프 상태로 유지하고, 현재 상의 스위치 $Sw_{(k+1)}$ 상태에 따라 토크가 제어된다.

그림 2는 DITC를 위한 각 구간 별 두 상의 스위치 상태 $Sw_{(k)}$ 와 $Sw_{(k+1)}$ 의 제어 규칙을 나타내고 있다. 그림 2에서 T_{err} 은 토크 오차를 의미하며, ΔT_H 는 제어기의 토크 제어 대역이다. 설정된 토크 제어 대역에 따라 히스테리시스 기법을 적용하여 제어 규칙이 1, 0, -1의 상태로 천이된다. 이때, 제어 규칙 1, 0, -1은

SRM을 구동하기 위한 비대칭 컨버터에서 스위치의 상태에 따른 동작모드를 의미한다. 그림 2(a)는 Region 1과 Region 2에서의 제어 규칙을 나타내고 있다. 즉, Region 1과 Region 2 영역은 두 상의 스위치가 동작모드를 가지게 되며, 그림 2(b)의 경우에는 Region 3과 같이 한 상의 여자에 의해서 토크가 제어되는 구간에서의 제어 규칙을 나타내고 있다.



(a) 제어규칙 1



(b) 제어규칙 2

그림 2 비대칭 컨버터를 이용한 DITC 제어규칙
Fig. 2 DITC control rules with a asymmetric converter
(a) control rule 1 (b) control rule 2

Region 3의 경우 이전상의 소호가 완료되고 다음상의 토크에 의해 전동기가 구동되며 제어규칙 2에 의해 스위칭이 결정된다.

그림 3과 그림 4는 본 논문에서 SRM의 DITC를 위한 비대칭 컨버터의 구조와 동작 상태 1, 0 및 -1에 대한 동작모드를 나타내고 있다. 그림 3에 설명된 비대칭 컨버터는 각 상에 대한 개별적 스위칭이 가능한 구조로 신뢰성이 높고, 구조가 단순하며, 제어가 용이하여 일반적인 SRM의 구동에 널리 적용되고 있다. 그림 4에 설명된 비대칭 컨버터의 세 가지 동작모드는

DITC의 제어 규칙을 설명하는 그림 2에서 각 상의 스위치 상태를 설명하며, 그림 4(a)의 여자 모드는 여자 전류를 투입하는 상태이며, 그림 4(b)의 휠링 모드는 여자 전류를 프리-휠링 시키고, 그림 4(c)의 감자 모드는 여자 전류를 급격하게 감소시키기 위한 스위치의 동작 상태를 나타낸다.

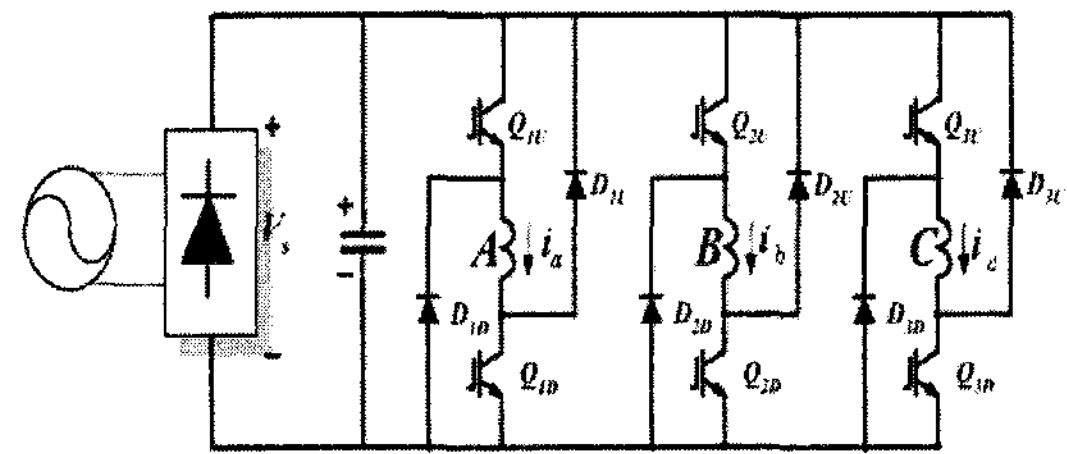
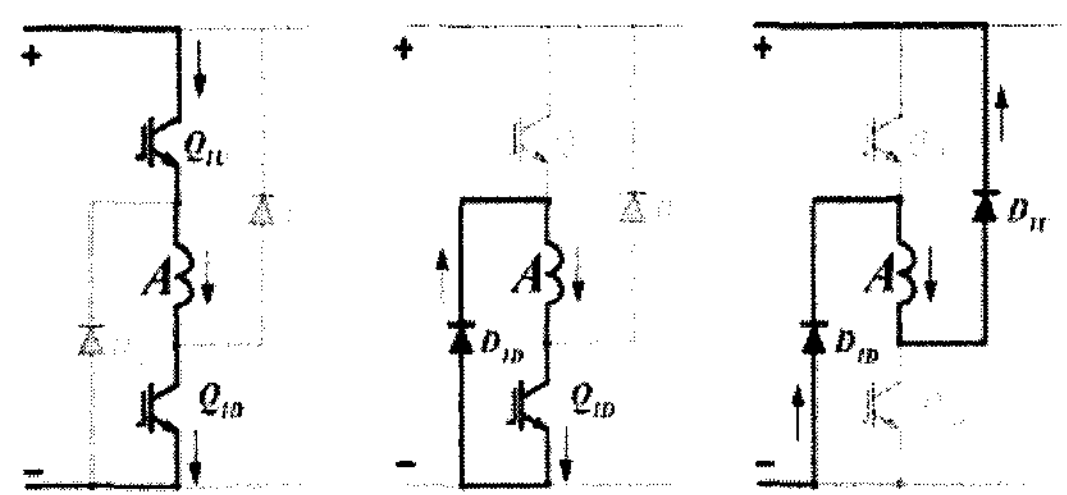


그림 3 일반적인 비대칭 컨버터
Fig. 3 Conventional asymmetric converter



(a) 여자 모드(1) (b) 휠링 모드(0) (c) 감자 모드(-1)

그림 4 비대칭 컨버터의 구동 모드
Fig. 4 Operation modes of asymmetric converter
(a) Excitation mode(1) (b) Freewheeling mode(0)
(c) Demagnetization mode(-1)

2.2 압력예측기법(Smith Predictor)

유압 펌프 시스템은 센서의 고유 시간지연과 유체 이동 시간 때문에 시간지연이 길다. 이러한 긴 시간지연은 일반적인 부궤환 제어와 PI 또는 PID 제어 구조에서 장시간의 진동과 불안정화를 만들기 쉽다.

신호 지연에 의한 문제를 해결하기 위한 스미스 예측기는 근대의 산업 공정 시스템에서 많이 사용되어지는 제어 기법이다^[6-7]. 1950년대 초반, O. I. M. Smith에 제안되어진 기법으로 초기에는 긴 이동지연 시간을 가지는 공장의 프로세스를 위해 제안되었다. 하지만 그 기법은 궤환 지연이 긴 모든 제어 프로세스에 적용되어 질 수 있다. 그래서 유압 제어에서 나타나는 시간지연을 개선하기 위해 스미스 예측기를 적용하였다. 그림 5은 스미스 예측기 제어시스템의 일반적인 블록도를 보여준다.

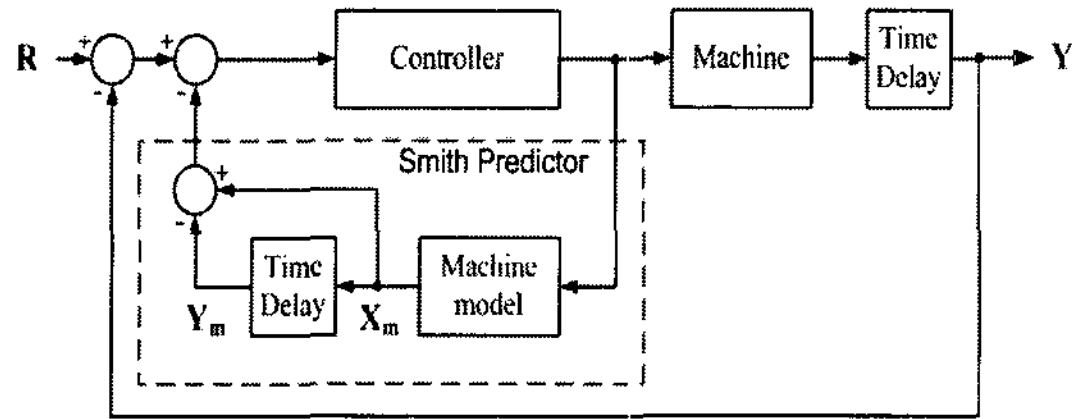


그림 5 스미스 예측기를 적용한 제어 시스템의 블록도
Fig. 5 Equivalent block of Smith predictor control system

스미스 예측기는 구조가 매우 간단하고, 기계의 동력 성분을 보상하기 위하여 인위적인 모델을 이용한다. 기계 모델이 정확하고 기계가 확실한 성능을 가진다면 제안된 기법은 최적의 제어를 제공할 수 있다.

그림 6은 제안된 DITC시스템에 스미스 예측제어를 적용한 블록도를 나타내고 있다. 제어 시스템에서 추정 토크 T_{est} 는 회전자 위치에 따른 상전류의 크기로 Look-up 테이블에 의해 추정된다. Look-up 테이블은 회전자 위치와 상전류의 크기에 따라 다이내모미터 구간별 측정된 데이터를 통하여 작성되며, 추정토크는 Look-up 테이블과 선형 보간법에 의해 임의의 위치와 전류에 대한 추정치가 연산된다. 또한, 엔코더로 측정된 회전자 위치 ω_{rm} 은 엔코더 펄스의 시간당 평균에 의해 구해지므로, 보다 정밀한 추정 위치 ω_{est} 를 연산하기 위해서 속도-토크 곡선으로부터 계산된 부하 토크와의 오차와 회전자 관성 J_m 의 시간 지연을 통하여 예측 될 수 있다. 즉, 회전자의 속도 예측기는 제어기의 비선형성으로 인해 발생하는 오차를 측정된 속도와 비교하여 제어기의 시간 지연에 의한 성분을 보상할 수 있다.

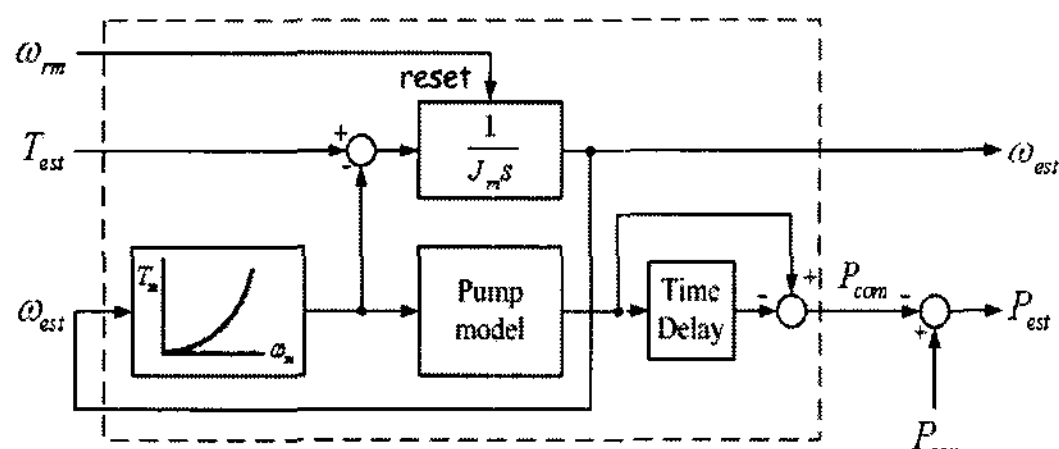


그림 6 Smith Predictor 제어를 적용한 제안된 DITC 시스템
Fig. 6 Block diagram of Smith predictor control in proposed DITC

예측된 속도와 속도-토크 특성에 의한 토크와 유압 펌프 모델과 시간 지연을 고려하여, 압력의 보상값이

결정된다. 즉, 예측된 속도신호 ω_{est} 로 부터 다시 토크를 계산하고 펌프 모델로부터 구해진 압력을 보상기를 통해 보상한다. 따라서, 실제 압력 센서로부터 입력된 압력 신호 P_{sen} 와 예측기의 보상신호 P_{com} 으로 추정 압력 P_{est} 가 계산된다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

3.1 시뮬레이션 결과

제안된 기법을 수행하기 위해서 먼저 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 및 실험에 적용된 SRM은 3상 12/8 SRM으로, 정격속도 3,000rpm에서 정격 출력이 2.2kW로 설계되었다. 시작기의 특성을 분석하기 위하여, 각 전류와 회전자 위치에 대한 토크 특성을 해석하기 위하여, 먼저 실험과 유한요소법(FEM)을 통하여 인덕턴스 특성을 분석하였다.

그림 7은 시뮬레이션 및 실험에 적용된 SRM의 인덕턴스 특성을 나타내고 있다. 그림에 나타난 인덕턴스 프로파일은 몇 개의 회전자 위치와 전류에 대한 인덕턴스 특성을 구하여 유한요소법 해석에 의한 데이터에 의해 보간법으로 프로파일이 구해진다.

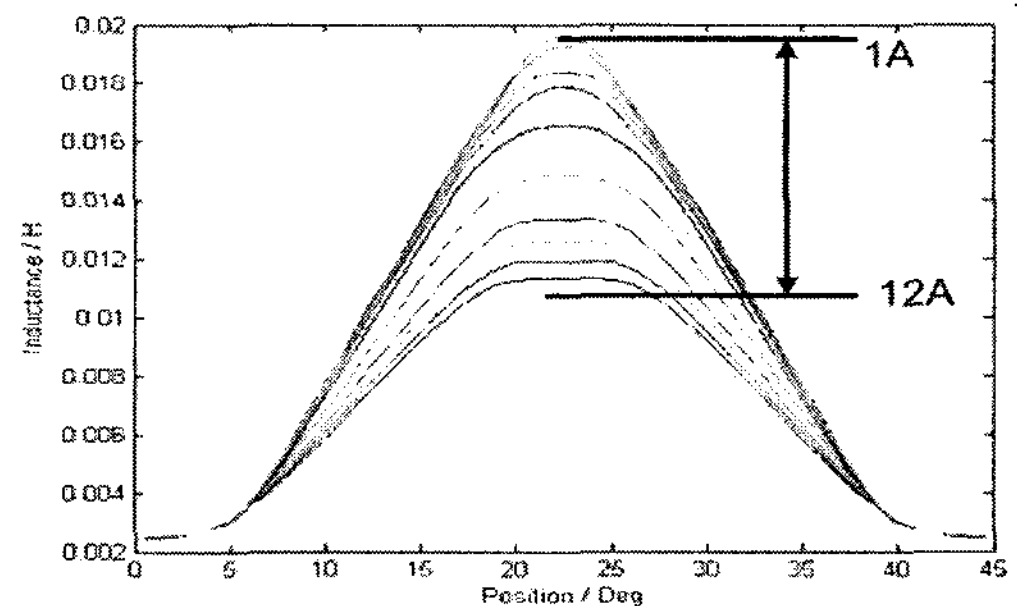


그림 7 시작 SRM의 인덕턴스 프로파일
Fig. 7 Inductance profile of the prototype SRM

그림 8은 인덕턴스 특성해석 및 실험을 통하여 구해진 SRM의 토크 특성을 나타내고 있다. 그림 8의 토크는 회전자 위치와 전류 크기에 따라 2-D의 Look-up 로 저장 된다. 전류의 크기는 0 ~ 20A까지 0.2A 단위로, 회전자 위치는 0 ~ 25deg까지 0.25deg 단위로 테이블을 작성하였으며, 작성된 테이블의 크기는 10k-word의 데이터로 저장된다. 실제 시뮬레이션과 실험에 있어서, 테이블로 표현되지 않는 전류와 회전자 위치에 대해서는 인근에 위치한 전류 및 회전자 위치에 대한 선형 보간법에 의해 구해진다.

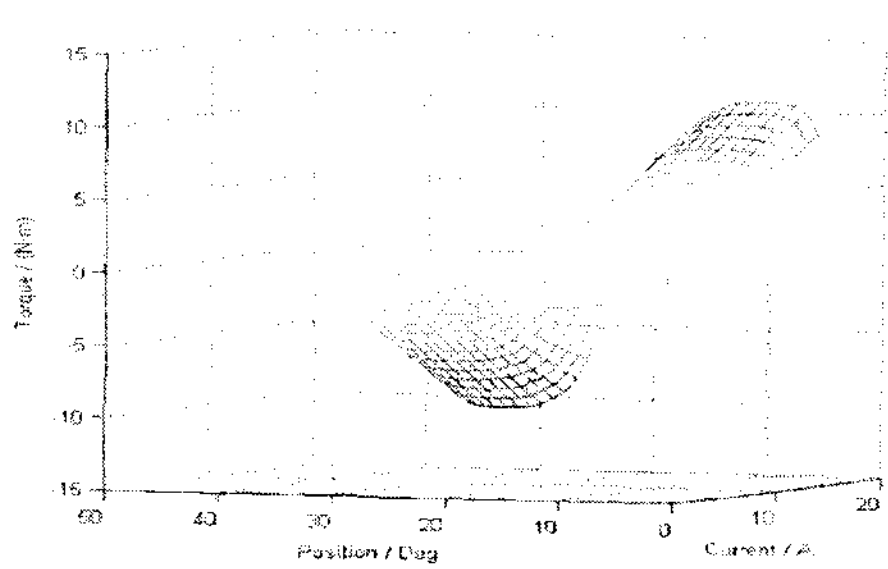


그림 8 시작 SRM의 토크 프로파일
Fig. 8 Torque profile of the prototype SRM

그림 9와 그림 10은 지령압력 2[Mpa]에서 전류 초핑 제어(CCC)와 제안된 DITC의 시뮬레이션 결과를 보여준다. CCC기법의 토크리플이 제안된 DITC 기법의 토크리플보다 약 2배 정도 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

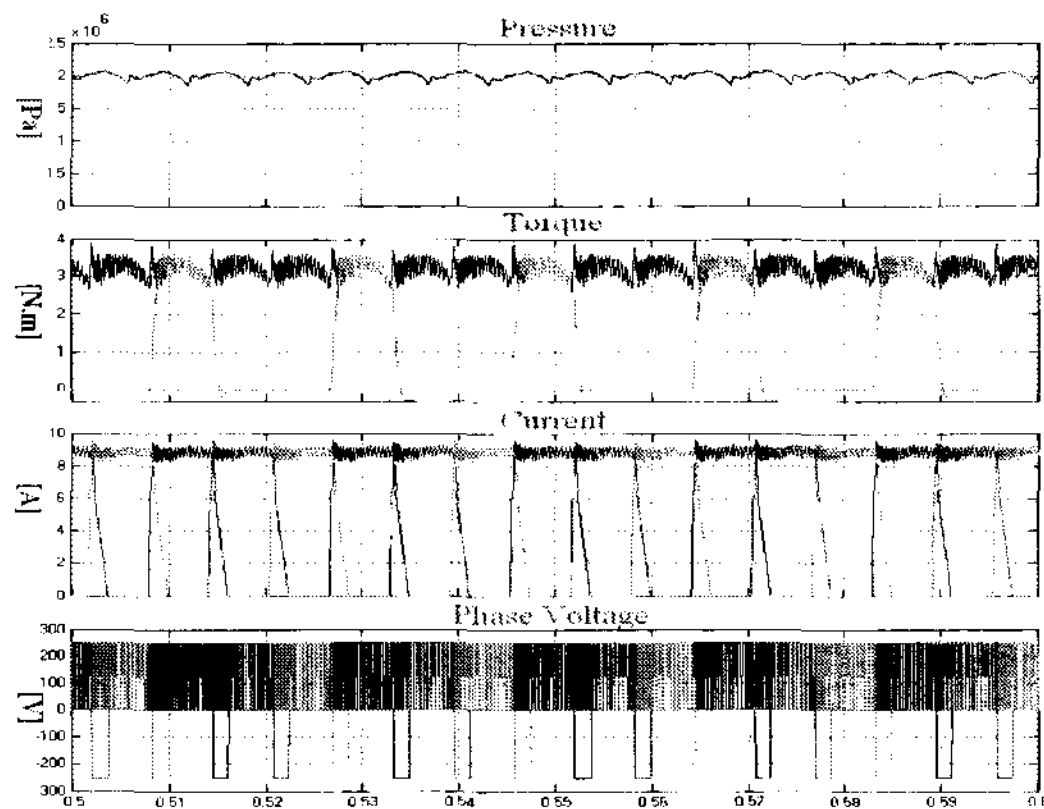


그림 9 전류 초핑 제어 시스템의 시뮬레이션 결과
Fig. 9 Current chopping control at 2[MPa]

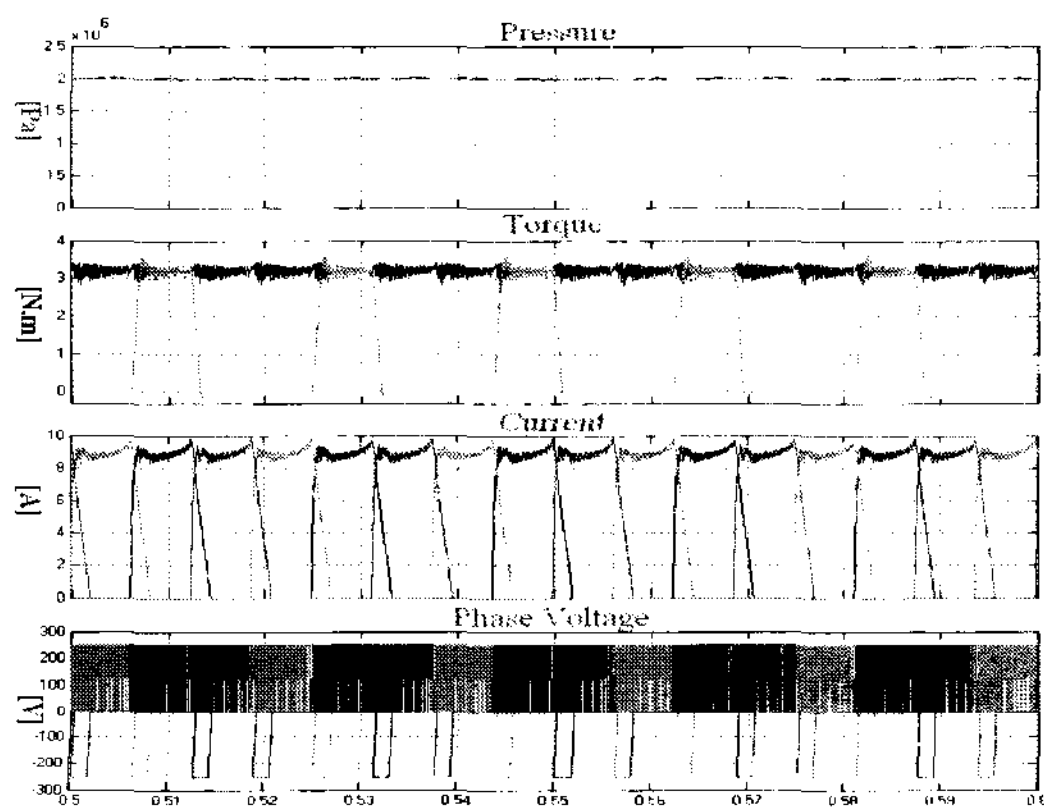


그림 10 제안된 DITC의 시뮬레이션 결과
Fig. 10 Proposed DITC control at 2[MPa]

그림 11은 제안된 DITC기법과 Smith Predictor 제어기법을 적용한 시스템의 시뮬레이션 결과이다. 그림 11에서 센서의 피드백 신호를 보상하는 압력 보상 신호의 적용에 의해, 안정적인 압력 제어 특성을 나타냄을 보이고 있다.

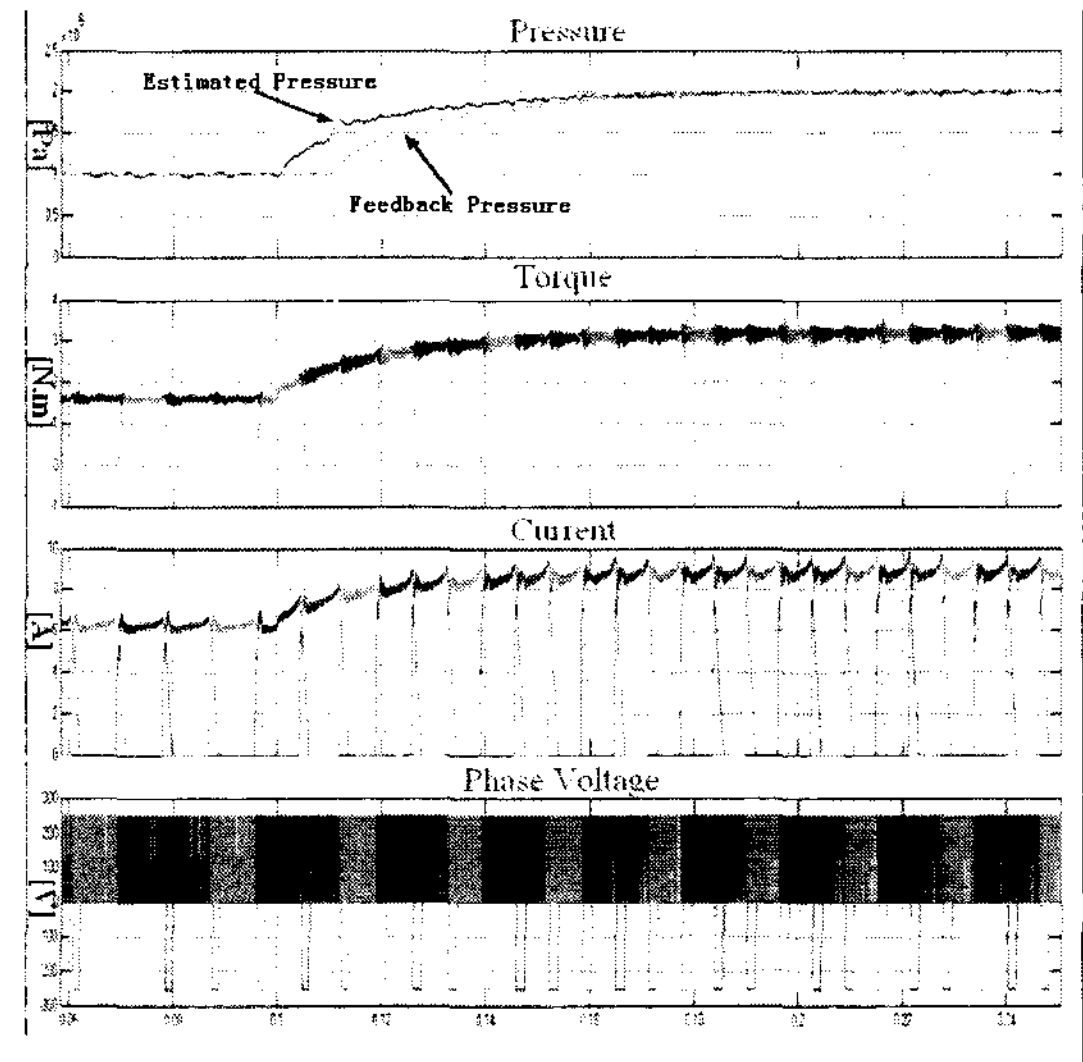


그림 11 제안된 DITC 제어의 압력 응답 시뮬레이션 결과
Fig. 11 Pressure response of proposed DITC control

3.2 실험결과

제안된 압력 예측기법의 타당성을 검토하기 위하여 실제 유압 펌프 시스템에 대한 실험을 수행하였다. 실험에 적용된 유압펌프 시스템은 3상-12/8극 SRM이 적용된 모델로, 정격 유량이 25[cm³/min]이고, 정격유압은 7[Mpa]이다. 실험에 적용된 제어기는 TI(Texas Instruments)사의 DSP인 TMS320F2812-150MHz를 적용하였고, 전류센서로부터 입력된 전류는 DSP에 내장된 12bit AD 컨버터를 이용하여 검출 하였다. 회전자 위치는 SRM에 부착된 엔코더로부터 DSP에 내장된 QEP 기능을 통하여 검출되고, 1.6[ms] 동안의 엔코더 펄스 수에 따라, 평균속도를 연산하였다. 제안된 DITC의 제어 샘플링 주기는 25[μs]로 연산되고, Smith Predictor의 샘플링 시간은 375[μs]로 실험을 수행하였다. 제어에 사용된 컨버터는 비대칭 컨버터로 IXYS사의 50[A], 600[V] 정격의 Discrete 소자로 설계되었다. 게이트 드라이브는 Agilent사의 HCPL-3120 포토 커플러로 절연하여 설계하였다.

그림 12와 그림 13은 제안된 유압 펌프 압력 제어 시스템과 실험환경을 나타내고 있다. 유압 펌프 시스

템의 부하는 유압 실린더가 적용되었다. 유압 실린더가 이동될 때 유압 펌프의 압력은 급격히 감소하며 실린더의 동작이 정지하면 압력이 급격히 증가하게 된다. 따라서, 펌프 제어 시스템에서는 실린더의 동작에 따라, 압력을 순시적으로 제어하기 위하여 유압 펌프를 구동하기 위한 SRM의 속도를 가변시키게 되며, 이는 압력 오차에 따른 토크 제어에 의해 수행된다. 이는 펌프 시스템의 유량 조절 밸브에 따라, 전동기의 속도 특성은 가변적이며, 압력은 펌프 구동 전동기의 토크에 직접 비례하기 때문이다.

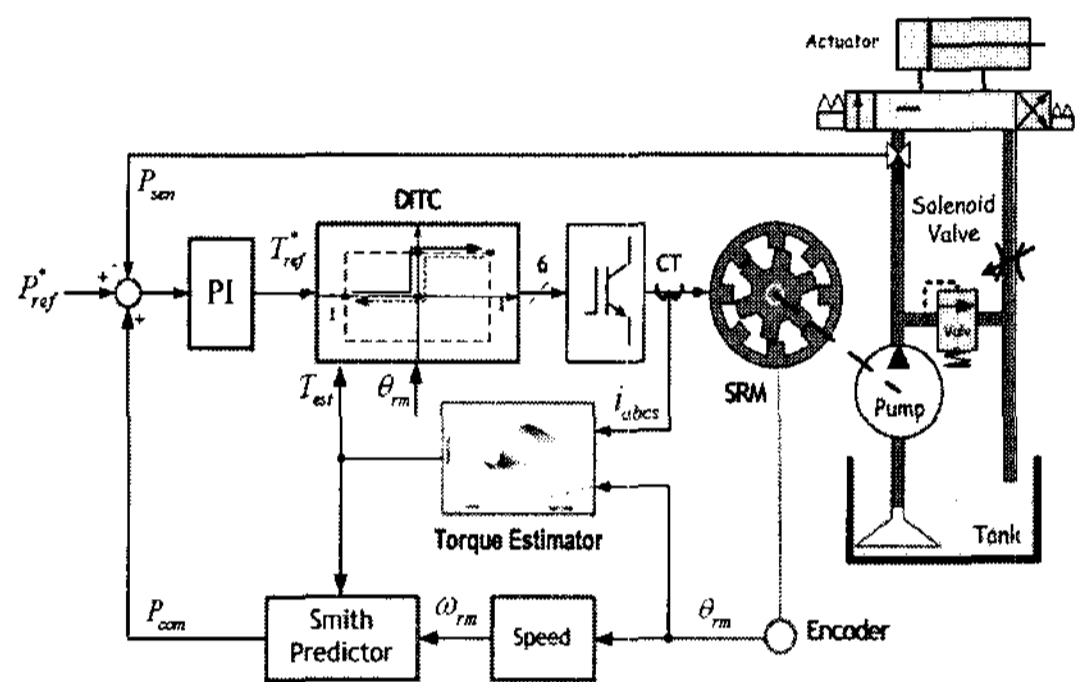


그림 12 제안된 압력제어기법
Fig. 12 The Proposed Pressure Control Method

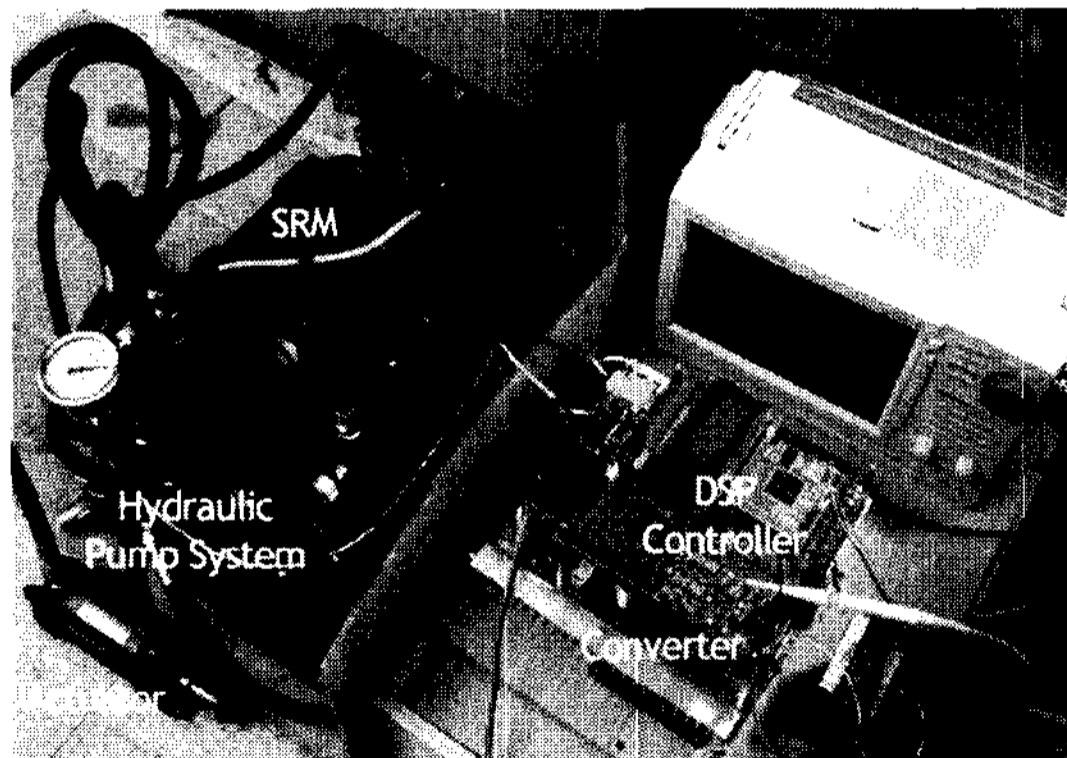


그림 13 제안된 압력제어기법을 수행하기 위한 실험 세트
Fig. 13 Experimental set up for proposed pressure control method

그림 14와 그림 15는 전류 초핑 기법과 제안된 DITC의 실험결과를 나타내고 있다. SRM의 비선형적인 토크 특성으로 인하여 단순한 전류 초핑에 의한 토크는 일정한 전류에 대해서도 실제 출력 토크에는 리플이 발생하게 되며, 이는 특히 상과 상이 전환되는 전류(轉流, commutation)구간에서 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 하지만 제안된 DITC 방식에서는 전류 구

간에서의 이전 여자상과 현재 여자상의 스위칭 패턴을 제어규칙에 의해 조절함으로써, 그림 15와 같이 토크 리플을 크게 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

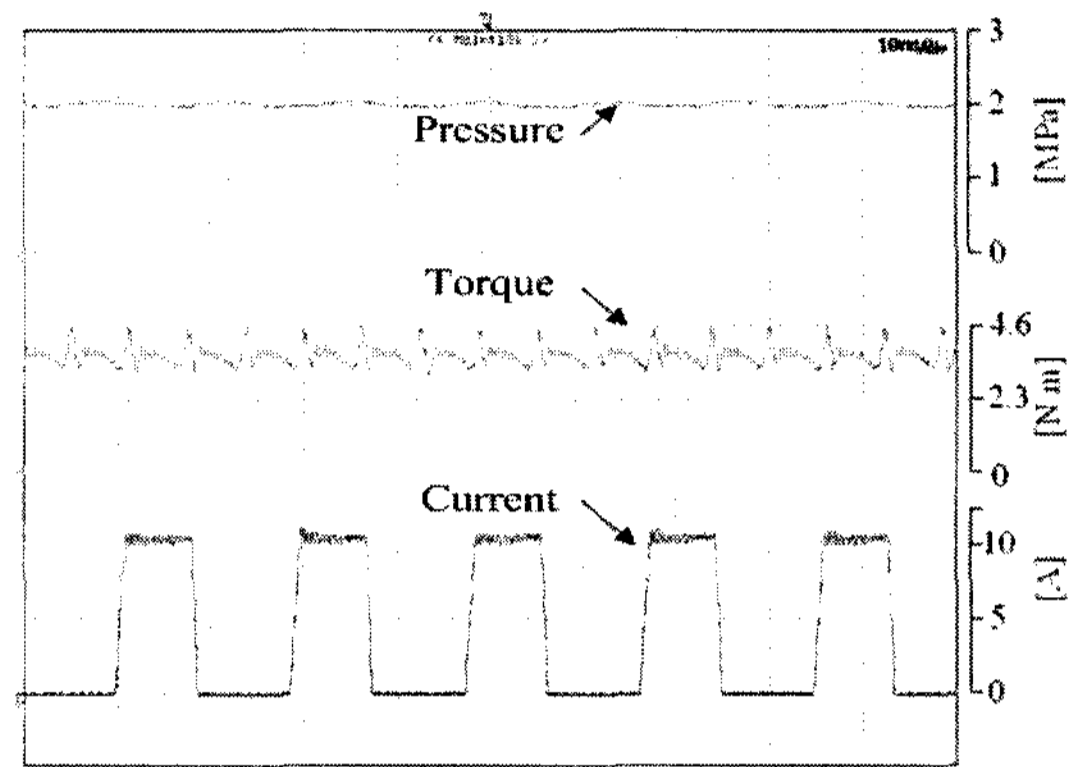


그림 14 전류 초핑 제어의 실험결과[10ms/div]
Fig. 14 Experimental result of CCC at 2[MPa]

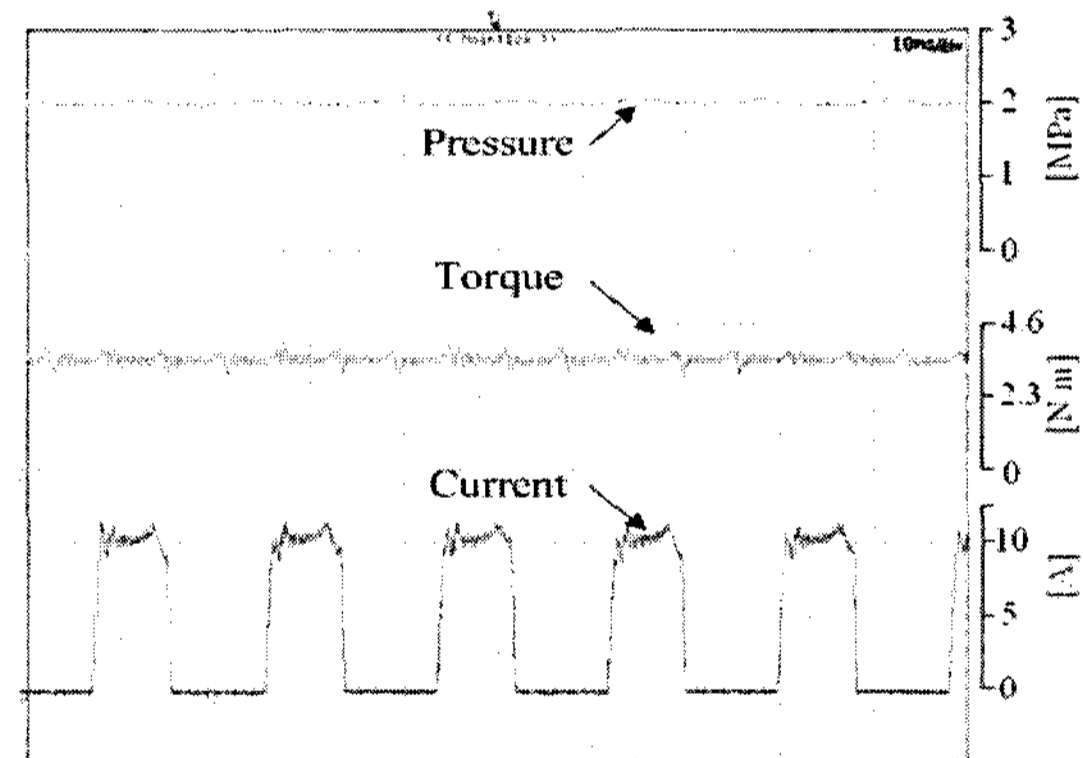


그림 15 제안된 DITC의 실험결과[10ms/div]
Fig. 15 Experimental result of proposed DITC at 2[MPa]

그림 16과 그림 17은 압력제어기를 일반적인 PI 제어 방식과 제안된 스미스-예측기법을 적용한 경우의 유압 제어시스템에서의 압력응답특성을 나타내고 있다. 토크 제어방식은 DITC 방식을 적용하였다. 그림 16의 압력 제어기를 PI 제어 방식으로 적용한 경우 압력응답의 안정화 시간은 약 150[ms] 이상이 된다. 이는 압력 센서의 응답성이 실제 압력에 비해 시간지연이 길어지며 이로 인하여, 적절한 제어기의 이득 설정이 어려울 뿐만 아니라, 실제 응답에도 오버슈트가 커지게 된다.

그림 17의 제안된 방식에서 압력의 오버슈트는 크게 감소하였으며, 안정화 시간이 60[ms] 정도로 응답성이

개선되었다. 그림 16과 그림 17의 실험에서 압력제어기의 이득은 동일하게 설정하였다.

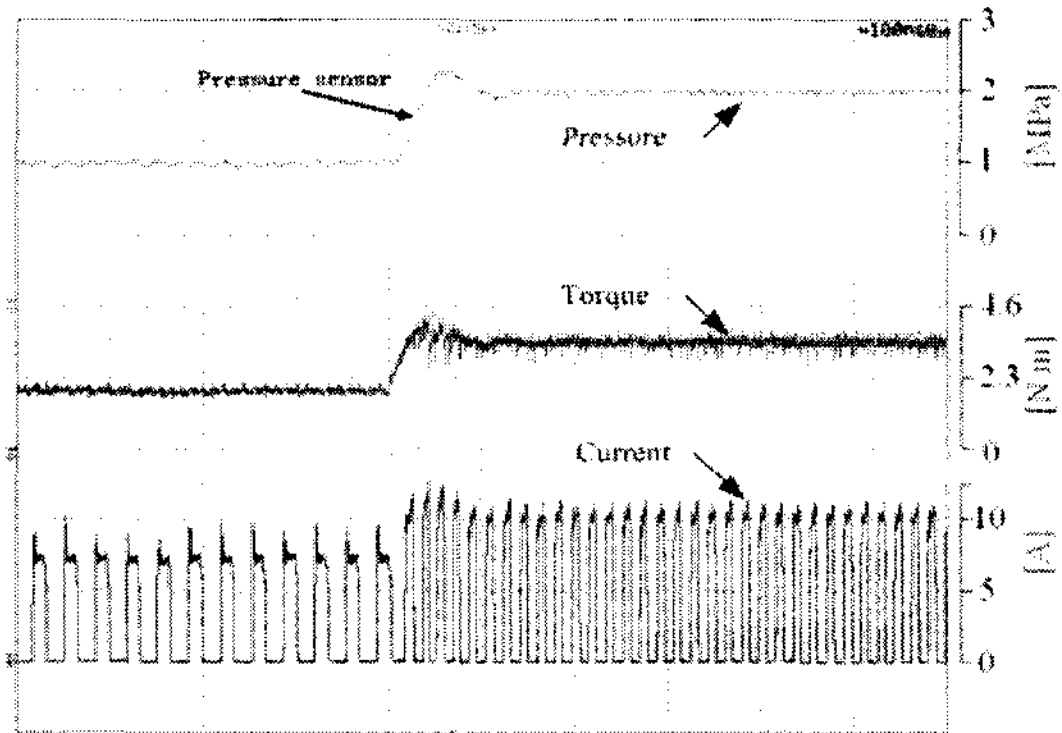


그림 16 PI형 압력제어기와 DITC에 의한 응답특성 [100ms/div]
 Fig. 16 Dynamic response of PI pressure controller and DITC[100ms/div]

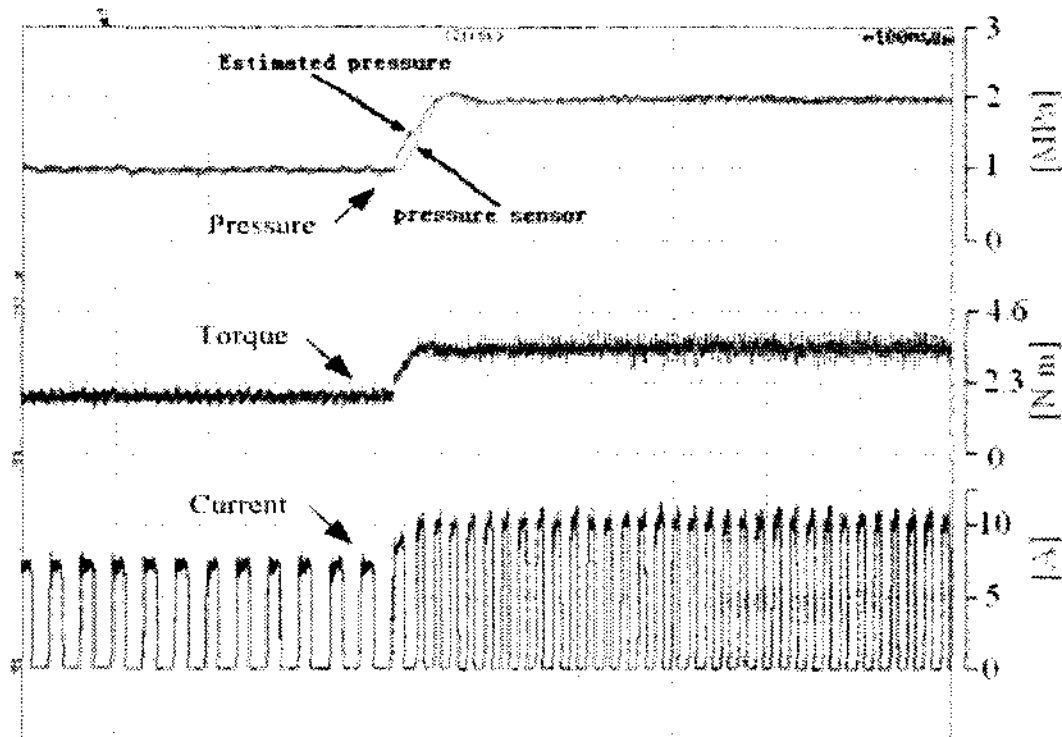


그림 17 제안된 제어 구조를 적용한 압력 응답[100ms/div]
 Fig. 17 Dynamic response of the proposed control scheme

그림 18과 그림 19는 부하변동과 압력지령의 변화에 따른 실험 결과를 나타내고 있다. 유압시스템의 부하는 유압펌프에 연결된 유압 실린더의 동작으로 압력이 인가된다. 일정한 압력제어 상태에서 유압 실린더가 움직이게 되면, 유량의 변동이 커지게 되고 실제 압력은 크게 감소하게 된다. 따라서, 일정한 압력을 유지하기 위해서는 유압펌프의 토크는 증가하게 되고, SRM의 속도도 증가하게 된다. 또한, 유압실린더의 동작이 정지하게 되면 유량이 갑자기 감소하게 되고, 이에 의한 펌프의 압력이 증가하게 된다. 이때, 증가된 유압을 감소하기 위해서는 SRM의 속도는 급격히 감소하여야 한다. 부하의 변동에 따른 SRM의 속도 변위는 실린더

와 부하량에 따라 달라진다. 반복적인 동작을 수행하는 유압 시스템의 경우, 속도 변위차가 높을수록 에너지 절감효과가 높아지게 된다.

일반적으로 부하의 변동에 따른 유압 변화의 응답시간을 100[ms] 이내로 산업계에서는 요구하고 있다. 그림 18에서 제안된 방식의 실험결과에서 부하의 변동에 따른 응답성은 100[ms] 이내로 안정적인 동작이 가능함을 보이고 있다. 또한, 정상상태에서도 압력의 리플이 없이 제어됨을 보이고 있다.

또한 그림 19는 압력 지령이 1[Mpa]에서 2[Mpa]로 변동하는 경우의 실험결과를 보이고 있다. 그림 18의 실험결과와 유사하게 안정적인 압력 추종제어 결과를 보이고 있다.

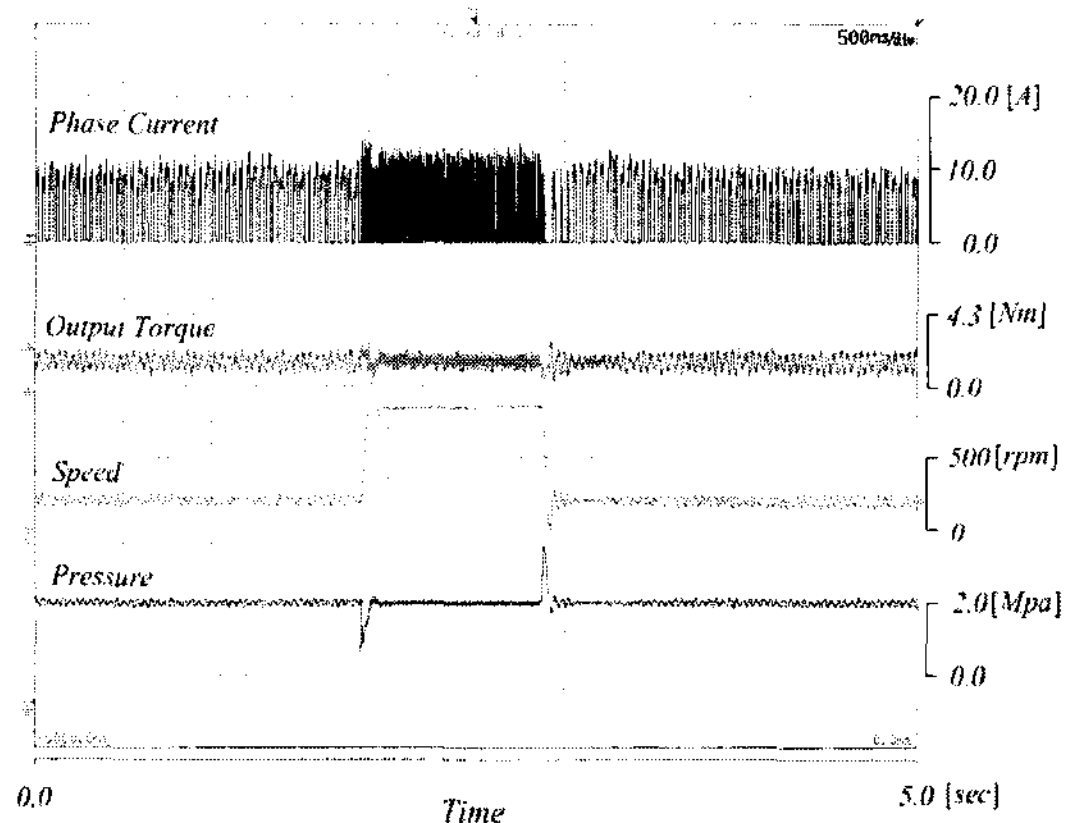


그림 18 부하 시험 결과
 Fig. 18 Operation 2[MPa] with cylinder load

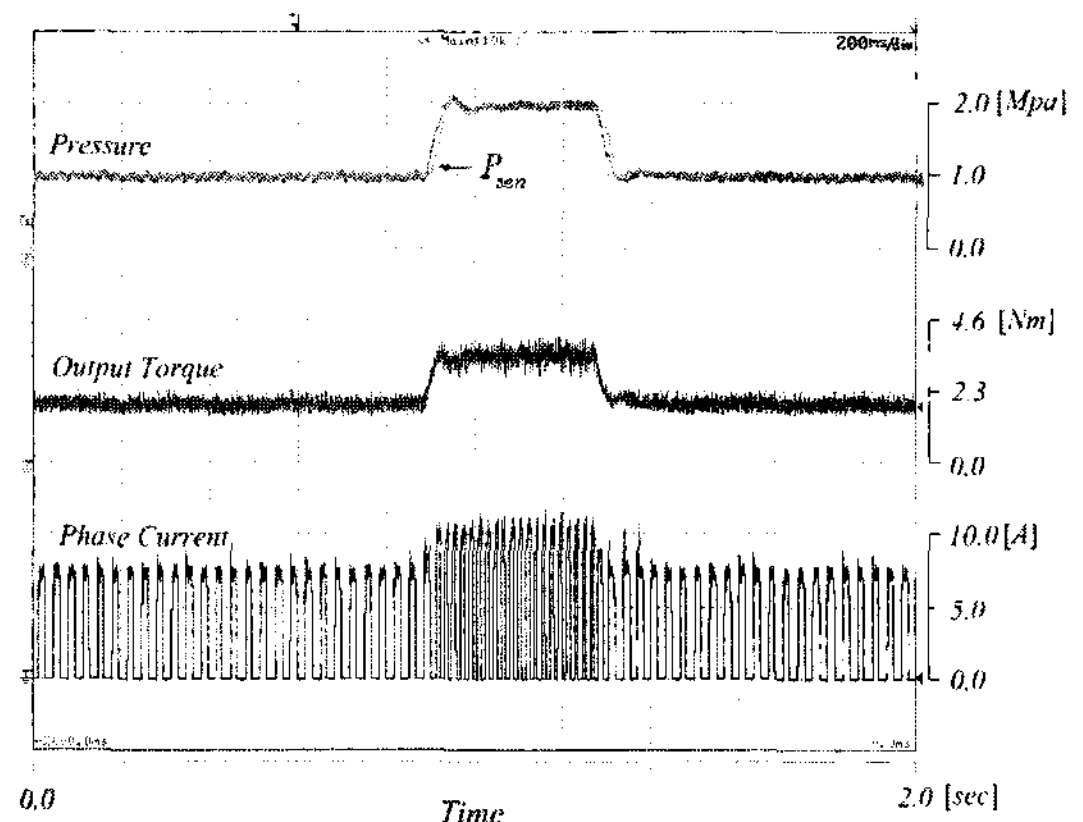


그림 19 지령압력의 변동에 대한 응답특성(1[Mpa] → 2[Mpa])
 Fig. 19 Pressure response according reference variation (1[Mpa] → 2[Mpa])

4. 결 론

본 논문에서는 동작 성능과 안정화를 향상시키기 위해 압력예측기법(Smith Predictor)을 이용한 SRM의 직접 순시 압력 제어 기법(DITC)을 제안하였다. DITC 기법을 사용하여 SRM 고유의 토크리플을 줄이고, 압력예측기법을 사용하여 입력신호의 지연을 보상하여 부궤환제어와 PID제어에서 나타나는 불안정화와 진동을 개선하였다.

실제 2.2kW급 유압펌프와 유압 실린더 부하 실험에서 제안된 방식의 압력 제어 응답특성과 정상상태 운전특성이 안정적으로 제어됨을 확인 할 수 있었다.

본 연구는 2007년 Brain Busan 21사업 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

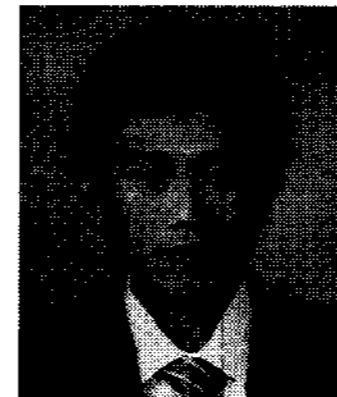
- [1] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어, 2004.
- [2] C. Y. Wu and C. Pollock, "Analysis and Reduction of Vibration and Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive," *IEEE Trans. on IA*, Vol.31, No.1, pp.91-98, 1995.
- [3] B. C. Kim, D. H. Lee J.W. Ahn, "Performance of SR Drive for Hydraulic Pump" *Proceedings of ICEMS 2005*, Vol. 1, pp.659-663, 2005, Sept. 27-29
- [4] Jame L. Johnson et al, "Introduction to Fluid Power, Science & Technology", 2004.
- [5] Inderka, R.B., De Doncker, R.W. , "DITC-direct Instantaneous Torque Control of Switched Reluctance Drives", *37th IAS Annual Meeting*. Vol 3, pp. 1605-1609, 2002.
- [6] J. A. Rossiter, "Model - Based Predictive Control", CRC Press, 2003.
- [7] R.C. Miall, D. J. Weir, D. M. Wolpert, J. F. Stein, "Is the Cerebellum a Smith Predictor?" *Journal of Motor Behavior*, Vol 25, No.3, pp.203-216, 1993.

저 자 소 개



이동희(李東熙)

1970년 11월 11일생. 1996년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년~2005년 OTIS-LG 서보 R&D 선임연구원. 2005년~현재 경성대 전기전자메카트로닉스 공학부 조교수, 당 학회 편집위원.



석승훈(石昇勳)

1982년 2월 14일생. 2007년 경성대 공대 전기전자공학과 졸업. 2007년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



Jianing Liang(梁嘉寧)

1980년 7월 26일생. 2003년 중국 심양공업대 전기공학과 졸업. 2005년 3월~2007년 2월 경성대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월~현재 동 대학원 산업시스템공학과 박사과정.



안진우(安珍雨)

1958년 5월 26일생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1995년 12월~1996년 2월 영국 글래스고우대 방문연구원. 1998년 8월~1999년 8월 미국 위스컨신대 방문교수. 2006년 7월~2007년 7월 미국 버니지아텍 방문교수. 1992년~현재 경성대 전기전자메카트로닉스 공학부 교수. 2005년~현재 차세대전동기기술 연구센터장.