

## 마찰패드의 마모를 고려한 건식 클러치의 접촉점 추종 알고리즘 개발

김성모\*, 김모성<sup>+</sup>, 신창우<sup>++</sup>, 임원식<sup>+++</sup>, 차석원<sup>++++</sup>

(논문접수일 2011. 10. 30, 수정일 2011. 11. 22, 심사완료일 2011. 11. 23)

### Development of Contact Point Estimation Algorithm of Dry type Clutch with Considering the friction pad wear

Sungmo Kim\*, Moseong Kim<sup>+</sup>, Changwoo Shin<sup>++</sup>, Wonsik Lim<sup>+++</sup>, Sukwon Cha<sup>++++</sup>

#### Abstract

A clutch is a very important component when engine starts and gear shifting is needed. The clutch the most commonly used is the dry clutch. This type of clutch has pads, and they are worn after disengagement of clutch little by little. The characteristics of the clutch changes as these pads wear, so wear needs to be measured, and the clutch should be controlled for proper operation. In this study, the clutch contact point estimation algorithm has been developed. From this algorithm, clutch force map changes depending on wear, and the clutch operates properly. We also see the shifting transient of a vehicle for drivability with throttle valve position control and synchronizer movement.

**Key Words :** Dry clutch(건식 클러치), Diaphragm spring(다이어프램 스프링), Clutch contact point estimation algorithm(클러치 컨택 포인트 추종 알고리즘), Gear shifting(기어 변속), Clutch control(클러치 제어)

## 1. 서론

상용 차량에 많이 사용되는 건식 클러치는 빈번한 클러치의 결합과 해제과정에서 발생하는 마찰과 슬립에 의해 클러치 패드가 마모된다. 이 마모로 클러치 조작시 클러치 릴리스 변위와 압력이 달라져야 하는데 운전자는 이를 감지하여 조작하기 어려움으로 제어를 통해 최적의 연산된 제어를 수행하여야 한다.

클러치를 사용하면서 클러치 패드의 마모도 커진다. 이러한 클러치 패드의 마모에 따라 운전자의 클러치 페달의 조작방법도 변해야 하는 어려움이 있다. 운전자의 클러치 페달조작의 자동화를 통해 편리성을 제공하기 위해선 액추에이터에 의한 제어가 필요하다. 운전자가 직접 조작하는 클러치 시스템은 피로감과 불편함을 초래하므로 최근에는 자동 클러치를 가진 수동변속기(MTAC)나 자동화 수동변속기(AMT) 등의 시스템이 발전되어 적용되고 있는 현 시점에서 클러치의 최적 제어를 위

\* 서울과학기술대학교 나노 IT 융합프로그램  
+ 서울대학교 기계항공공학부  
++ 서울대학교 기계항공공학부  
+++ 교신저자, 서울과학기술대학교 자동차공학과 (limws@seoultech.ac.kr)  
주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172  
++++ 서울대학교 기계항공공학부

해 동적 성능 분석은 매우 중요하다<sup>(1)</sup>.

이러한 내용을 바탕으로 클러치 연구가 수행되었다. 클러치 릴리스 변위에 따른 클러치 전달 토크의 변화를 통해 클러치 접촉점을 추종하였고, 클러치 패드의 마모를 파악하여 누적된 마모 결과에 대해 클러치 맵을 변경하는 형태의 연구가 진행되었다.

이와 함께 변속에 따른 변속 과도특성 분석을 통해 스로틀 변위를 제어하고 싱크로나이저의 결합 과정을 확인하였다. 운전자 모델의 엑셀개도와 브레이크 페달 프로파일을 설정하여 원하는 조건에 따라 클러치 패드 마모 상태를 파악하여 클러치 접촉점 추종관련 학습제어를 수행하도록 하였다.

## 2. 차량 운전 특성

건식 클러치의 마모 특성에 대해 클러치 모델은 Fig. 1과 같은 모습으로 클러치 페달을 밟지 않으면 클러치는 결합되어 있다가, 클러치 페달의 조작력이 작용하면 클러치가 해제되는 형태로 작동 된다<sup>(2)</sup>.

이와 같은 클러치는 다이어프램 스프링의 특성에 의해 Fig. 2와 같이 클러치 릴리스 변위( $X_c$ )에 따른 압착력( $F_c$ )으로 작동하게

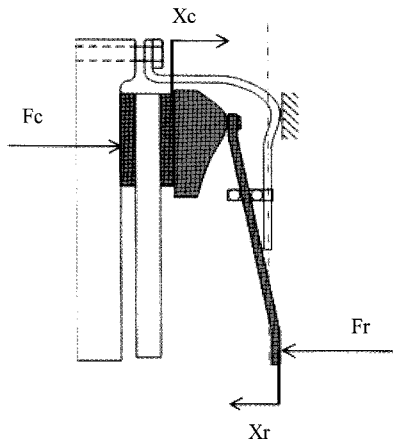


Fig. 1 Schematic diagram of clutch model

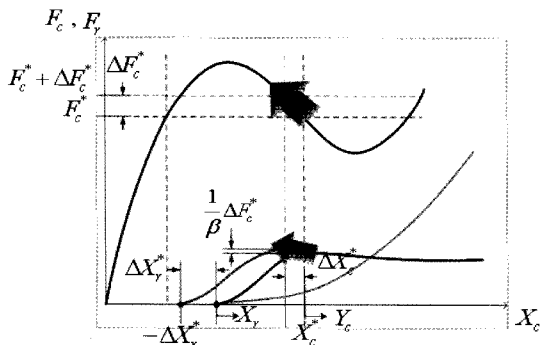


Fig. 2 Diaphragm spring hysteresis

된다. 차량의 출발이나 변속시에 클러치는 결합 및 해제의 동작을 수행하게 되는데, 오랜 시간동안 작동하다 보면 클러치 패드에 마모가 발생하게 되고 이에 따라, Fig. 2의 화살표 방향으로 클러치 압착력의 변화가 발생하게 된다. 이런 변화에 대응하여 클러치 제어를 위한 최적의 클러치 접촉점 추종을 위한 알고리즘을 구성하였다.

## 3. 클러치 접촉점 추종관련 학습제어

클러치 접촉점 추종관련 학습제어는 Fig. 3의 세 가지 단계를 포함하며 구성은 Fig. 4와 같다. Fig. 4의 서브 시스템 A에서는 엔진 아이들링 상태, 기어 중립 단, 브레이크 작동에 의한 차량 정지 상태, 클러치 일정 횟수 이상 작동 하였을 때, 조건에 따른 마모 추종 요구 로직이 적용된다. 서브 시스템 B에서는 클러치 릴리스 변위에 따른 클러치 토크 변화를 파악하여 클러치 접촉점 추종 및 마모량을 분석한다. 서브 시스템 C에서는 클러치 마모량에 따른 클러치 맵 변환을 실행한다. Fig. 4에 대한 파라미터에 대한 설명은 Table 1에 명시되어 있다.

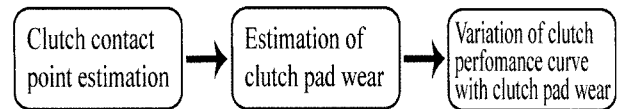


Fig. 3 Clutch contact point estimation phase

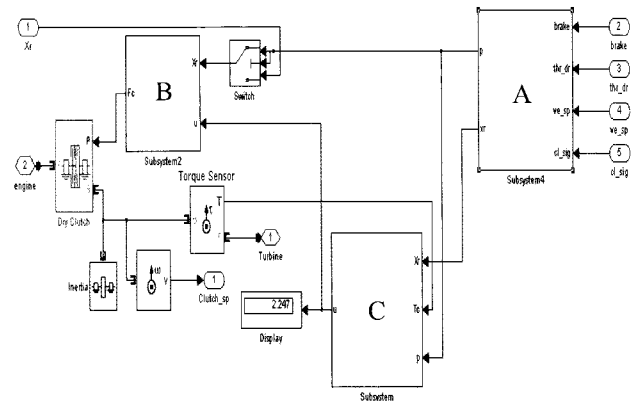


Fig. 4 Clutch contact point estimation control

Table 1 Description of parameter in clutch contact point

NO	Parameter	Description
1	brake	brake signal
2	thr_dr	throttle position of driver
3	ve_sp	vehicle speed
4	cl_sig	clutch signal
5	turbine	input speed of transmission
6	clutch_sp	clutch speed

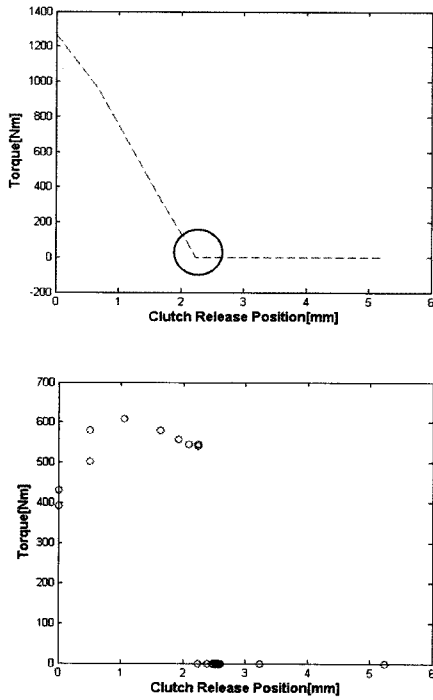


Fig. 5 Clutch torque and clutch release position

### 3.1 클러치 접촉점 추종 제어기

클러치 마모 정도를 파악할 수 있는 클러치 접촉점 추종 알고리즘을 구현하였다. Fig. 5에서 나타낸 클러치 릴리스 변위에 따른 클러치 전달 토크의 변화( $dT_c/dX_c$ )를 통한 클러치 접촉점 추종 시뮬레이션을 수행하여 클러치의 결합 시점을 파악하였다. 클러치 전달 토크의 변화가 시작되는 점이 클러치 접촉점이 되며, 클러치 패드가 마모됨에 따라 접촉점이 좌측으로 이동됨을 예측할 수 있다<sup>(3)</sup>.

### 3.2 클러치 접촉점 추종 학습 제어기

Fig. 6은 클러치 패드 마모 파악 시점에 대한 학습 제어기 모델로 해당 조건에서 클러치 접촉점 추종을 수행하도록 한다. 본 연구에서는 운전자 모델의 엑셀개도와 브레이크 페달 신호, 차량 속도, 클러치 결합과 해제 횟수의 조건을 고려하여 클러치 접촉점 추종 제어를 수행하고, 패드 마모 정도를 확인하도록 하였다.

Fig. 7은 위 조건에 의해 클러치 접촉점 추종 제어가 수행

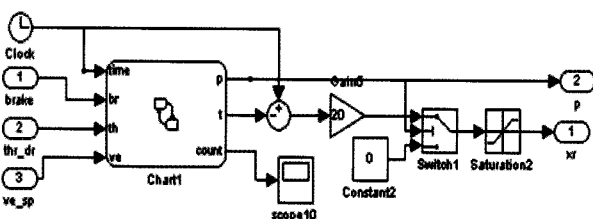


Fig. 6 Clutch contract point estimation condition model

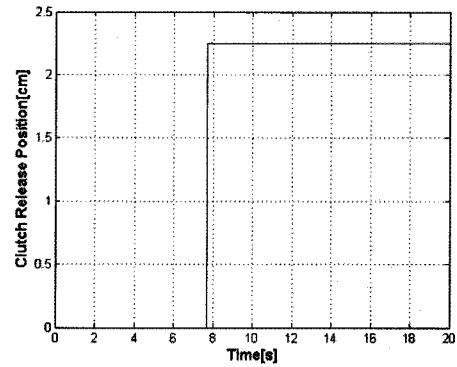


Fig. 7 Clutch contract point estimation

사이클의 특정 시간에 동작함을 나타낸다.

### 3.3 클러치 맵 변환 제어기

Fig. 8은 클러치 정상 상태, 또는 각 마모 시에 해당하는 클러치 맵이 적용되도록 하는 제어기를 나타낸다. 정상상태와 2,4,6 mm 등의 마모 시를 기준으로 하여 네 가지 클러치 맵으로 구성하였다. 학습제어를 통해 얻어진 클러치 접촉점 값을 정상상태와 비교하여 마모를 파악하고 해당 클러치 맵으로 자동 변환하도록 하였다.

Fig. 9는 마모된 정도에 따른 적용된 클러치 맵으로 클러치 릴리스 변위에 따른 클러치 압력의 그래프이다.

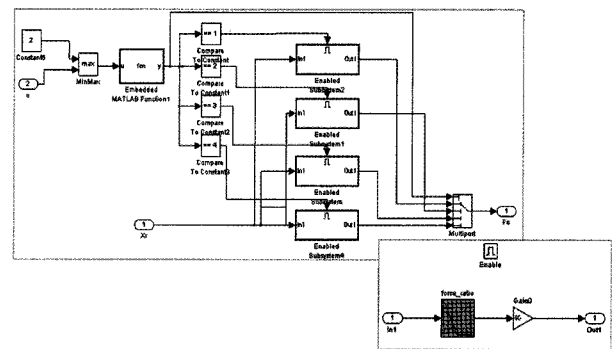


Fig. 8 Clutch map shifting control model

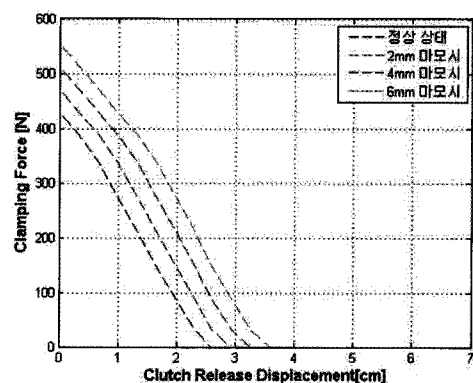


Fig. 9 Clamping force map

## 4. 시뮬레이션 및 결과

### 4.1 운전자(Driver) 모델

Fig. 10과 같이 시간에 따른 엑셀개도와 브레이크 페달신호를 이용하여 운전자 모델을 구현 하였다. 엑셀개도와 각속도를 토대로, 운전자의 가속의지와 브레이크 신호를 이용하여 운전자의 가감속의 의지(명령)를 판단한다.

### 4.2 변속제어장치 모델

Fig. 11은 변속 맵에 따른 변속 제어 모델이다. 스로틀 개도(Veh\_tq)와 차속(Veh\_sp)의 변화를 이용하여 업 시프트(Veh\_up) 또는 다운 시프트(Veh\_down)를 결정하고, 변속시 클러치를 조작하기 위해 클러치 액추에이터에 신호(Clutch\_sig)를 보내며 동시에 기어 액추에이터에 신호(P\_shift)를 보내어 변속을 완료한다.

### 4.3 클러치 제어장치 모델

목표 엔진속도를 가지고 PID 제어를 통한 스로틀 제어를 수행하였다.

### 4.4 동력 전달 모델

엔진, 클러치, 변속기, 차량 부하 등의 모델이 적용되었다. 클러치 접촉점 추종관련 학습 제어가 포함되어 있다.

### 4.5 시뮬레이션 결과

Fig. 12는 본 연구에서 수행된 모델링을 바탕으로 클러치 접촉

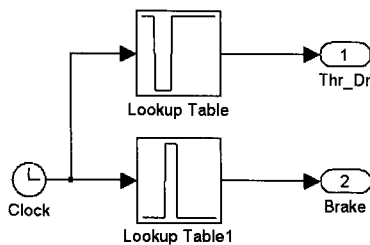


Fig. 10 Driver model

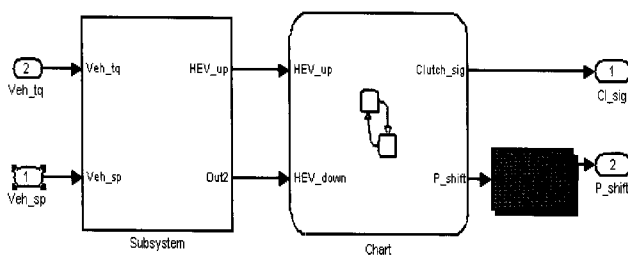


Fig. 11 Transmission control unit model

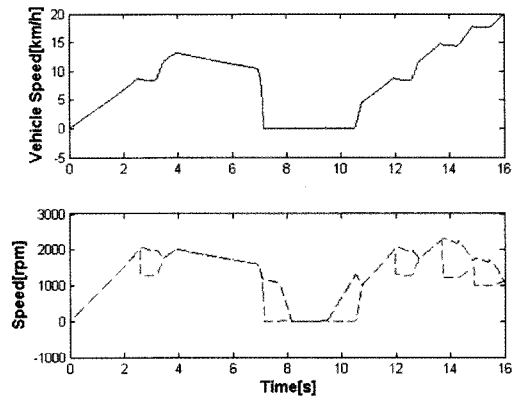


Fig. 12 Simulation result

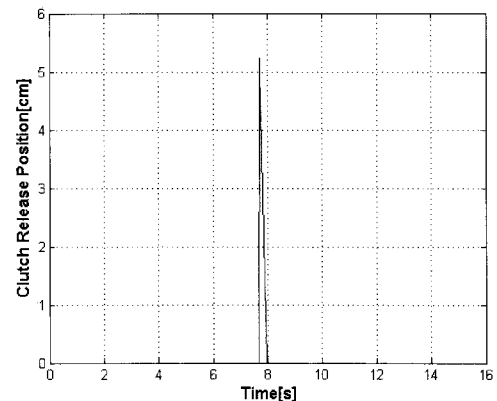


Fig. 13 Clutch release position control

점 추종관련 학습제어를 포함한 시뮬레이션의 차량 주행 상태를 나타낸다. 정해진 조건에 따라 클러치 접촉점 추종 학습 제어는 Fig. 13에서와 같이 8초 때 작동하였다.

## 5. 결론

본 연구에서는 차량 변속시 필요한 건식 클러치의 마모 특성에 따라 클러치 접촉점 추종에 대해 알아보았다. 클러치 패드 마모에 따라 클러치 릴리스 변위와 클램핑력의 특성이 다이에 프램 스프링의 특정된 곡선을 따라가는 것을 확인하고 클러치 릴리스 변위에 따른 클러치 전달 토크 변화를 고려하여 클러치 접촉점을 추종하고, 이를 클러치 맵 변환에 적용하였다. 건식 클러치 패드의 마모를 인식하여 클러치 접촉점 추종관련 학습 제어를 개발하였다.

## 참고 문헌

- (1) Park, S. J., Ryu, W., Song, J. G., Song, S. I., Hwang, S. H., and Kim, H. S., 2004, "Development of Automated Manual Transmission Performance Simulator

- and Analysis of Shift Characteristics,” *KSAE Spring conference proceedings*, No. 2, pp. 810~815.
- (2) Park, J. H., Jang, W. J., Jo, S. T., Lee, J. M., and Jo, H. S., 1996, “A Study on the Dynamic Characteristics of Automated Manual Transmission System,” *Proceeding of the KSPE spring conf.*, pp. 325~329.
- (3) Jo, C. H., Hwang, S. H., and Kim, H. S., 2009, “Estimation of Clamping-force and Development of Gap-distance Control Algorithm for Electro-mechanical Brake,” *KSAE conference proceedings*, pp. 665~670.
- (4) Luigi, G., and Luigi, I., 2006, “Gearshift Control for Automated Manual Transmissions”, *IEEE*, Vol. 11, No. 1, pp. 17~26.