

## 요소결합을 통한 파워트레인 모델링

서정민\*(한양대 대학원 자동차공학과), 이승종(한양대 자동차공학과)

### Automotive Powertrain Modeling with the Combination of the Component

Jungmin. Seo(Mechanical. Eng. Dept. HYU), S. J. Yi(Mechanical Eng. Dept., HYU)

#### ABSTRACT

Powertrain simulation is important for the analysis of a vehicle performance. Automotive powertrain has been considered as the unified system and should be remodeled, whenever a powertrain system is changed. In this study, a new method is proposed for the synthetic modeling for the automotive powertrain. Components are separated from the powertrain system and constructed the matrix through dynamic relationships. The dynamic equation of the total powertrain system can be driven from the combination of each component. In order to combine each component, the superposition method is modified for the powertrain composition.

**Key Words** : 요소블럭(element block), 동력유동행렬(power flow matrix), 개별노드번호(local node number), 전체노드번호(global node number), 중첩법(superposition method), 작동력행렬(power effort matrix)

#### 1. 서론

새로운 모델을 개발하는데 있어 가장 중요한 요소는 개발비용과 개발기간의 최소화일 것이다. 이러한 두가지 목표를 위해 기업들은 개발과정중 상당부분을 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션들로 대체하고 있고, 기업 상황에 맞는 독자적인 프로그램 개발에도 많은 투자를 하고 있다. 특히 자동차의 동적특성을 좌우하는 엔진과 변속기, 타이어드의 동력전달요소들은 개발과정에서 큰 비중을 차지하는 만큼 그에 대한 시뮬레이션들의 중요성은 더욱 크다고 말할 수 있다.

본 연구실에서도 자동변속기 시뮬레이션프로그램개발에 대한 많은 연구가 진행되어왔다[1]. 그러나 기존의 연구는 라비노방식이나 심프슨방식등의 어느 특정한 형태의 변속기만의 운동방정식을 개별적으로 유도하여 그 변속기를 장착한 차량의 동적성능을 시험하는 방향의 것이었다. 이러한 시뮬레이션 프로그램은 변속기 자체의 설계가 아닌 변속제어등 이차적인 목적에 이용하기 위한 수단으로서의 목적이 더욱 크다고 할 수 있다. 그러나 변속기의 종류에 따라 반복적으로 변속기의 운동방정식을

유도해야만 한다는 것은 시뮬레이션프로그램을 사용하고자하는 소기의 목적을 상당부분 퇴색시키는 감이 없지않다. 이러한 부분에 착안하여 본 연구는 특정한 형태의 자동변속기에 국한되는 것이 아닌 변속기를 각각의 요소결합을 통하여 직접 프로그램 상에서 설계하고, 그 운동방정식을 프로그램적으로 처리하여 사용자가 보다 다양한 변속기를 선택할 수 있게 함으로서 설계하고자 하는 차량에 맞는 최적의 자동변속기를 선택할 수 있는 프로그램 개발에 목적이 있다. 그러기 위해서 우선 자동변속기의 각 요소들을 개별 모델링하고, 그 요소들을 하나의 행렬로 결합하는 방법을 설정하여 전체 운동방정식을 유도하도록 하였다.

#### 2. 요소 모델링

##### 2.1 엔진 및 토그컨버터 모델링

엔진 및 토크 컨버터의 동적성능은 전체 차량계의 거동에 큰 영향을 주는 요소이다. 따라서 이 요소들에 대한 보다 정확한 모델링은 자동변속기의 성능개선 즉, 최적변속시점, 락업시점 결정 및 클러치 압력제어의 최적화에 반드시 필요하다[2]. 그러



브레이크요소의 행렬구성은 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

### 2.2.4 유성기어 요소

일반적으로 AT 에 사용되는 유성기어는 라비노 방식, 심프슨방식등의 기어들을 조합하여 사용한다. 각 기어방식은 특별히 동력학적으로는 차이가 없다. 그러나 실제 변속기에서는 변속기의 동적성능 못지않게 윤활과 냉각이 중요한 고려사항이 된다. 이러한 요인으로 기어의 방식 및 변속기내부의 구성이 결정된다. 유성기어의 블록은 Fig.4 로 정의할 수 있다.

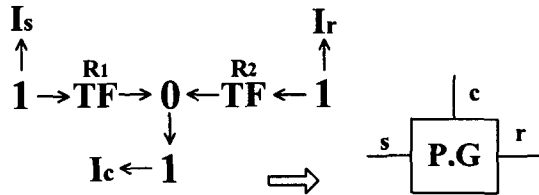


Fig. 4 Block of the planetary gear element

### 2.2.5 기어 요소

변속기의 내부에는 두개의 축을 연결하기 위해서, 또는 후진변속을 위해서 등의 이유로 유성기어와 별도로 기어요소가 필요하게 된다. 이런 기어 요소는 단순히 변환요소(transformer)로 존재한다. 또한 회전체의 일부이므로 별도의 관성값을 가지게 된다. 이러한 특징을 고려한 기어요소의 블록은 Fig.5 와 같이 정의할 수 있다.

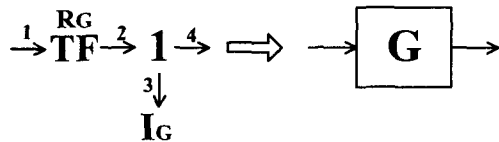


Fig. 5 Block of the gear element

기어요소의 행렬은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -R_g & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

### 2.2.6 관성 요소

변속기 내부에 동력요소를 지지하기위한 요소들은 동력전달 과정에는 영향을 주지않으나 함께 회전하게 되므로 회전에너지를 저장하게 된다. 관성 요소의 블록은 Fig.6 으로 정의한다.

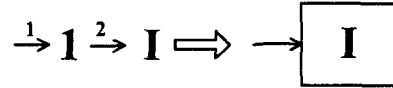


Fig. 6 Block of the inertia element

관성요소의 행렬은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

## 3. 전체 시스템 모델링

### 3.1 요소 결합 방법

요소별로 정의된 행렬은 요소의 개별노드(local node)를 기준으로 설정된 것이며 이러한 개별노드 번호(local node number)는 고정된 값으로 주어진다. 각 요소 블록을 연결하여 전체 시스템을 구성하면 각 노드에는 개별노드번호(local number)와 함께 전체노드번호(global node number)가 설정되어진다[4].

$$\begin{bmatrix} K_1^e & K_2^e \\ K_3^e & K_4^e \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{f}_1^e \\ \bar{f}_2^e \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{R}_1^e \\ \bar{R}_2^e \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} K_1^{e+1} & K_2^{e+1} \\ K_3^{e+1} & K_4^{e+1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{f}_1^{e+1} \\ \bar{f}_2^{e+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{R}_1^{e+1} \\ \bar{R}_2^{e+1} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

$$\bar{f}_1^e = f_1, \quad \bar{f}_2^e = \bar{f}_1^{e+1} = f_2, \quad \bar{f}_2^{e+1} = f_3$$

where

$$\bar{f}^e : \text{local flow} \quad \bar{R}^e : \text{relation of flow}$$

중첩법(superposition method)을 적용하여 요소의 전체노드번호(global node number)를 기준으로 하나의 행렬로 정리하면, 시스템 전체의 동력유동(power flow)에 대한 행렬을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} K_1^e & K_2^e & 0 \\ K_3^e & K^{e,e+1} & K_2^{e+1} \\ 0 & K_3^{e+1} & K_4^{e+1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_1 \\ R^{e,e+1} \\ R_3 \end{Bmatrix}$$

일반적으로 중첩법(superposition method)에서 중첩되는 부분의 행렬요소값은 합으로 표현된다. 그러나 본 연구의 행렬의 우변은 합으로 연산해야 하는 물리적인 값이 아닌 노드간의 관계를 의미하는 수치값이다. 따라서 행렬요소를 합하는 것이 아닌 대체하는것으로 연결방법을 설정한다.

### 3.2 전체시스템의 동력유동 행렬구성

Fig7.과 같이 요소결합으로 2 심플방식(2 simple planetary gear type)의 자동변속기를 구성하고 전체행렬을 구성하여 운동방정식을 유도하여 그 결과를 기존의 논문결과와 비교하여 보도록한다[5].

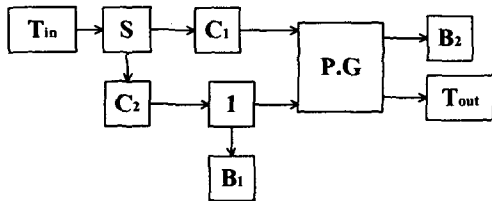


Fig. 7 Block of the 2 simple planetary gear type

중첩법에 의해 각 요소의 행렬을 전체 시스템에 대한 행렬로 구성하면,  $34 \times 34$  행렬로 정리된다. 이 행렬의 역행렬과 행렬  $R$ 의 행렬곱으로 각 노드의 동력유동  $f$ 를 얻게 된다.

$$\{f\} = [K]^{-1}\{R\} \quad (5)$$

행렬  $R$ 은 각 노드의 관계행렬로서 외력요소와 클러치요소의 노드를 제외한 모든 값이 0이다. 따라서 각 노드의 동력유동은  $\omega_{in}$ 와  $\omega_c$ 의 합으로 정의된다. 그 결과를 토대로 변속기시스템의 작동력행렬(power effort matrix)를 구성하여 운동방정식을 유도할 수 있다. 그에 따라 유도된 전체 운동방정식은 식(6), (7)과 같이 유도된다.  $\omega_{CR}$ 은 변속기출력부의 회전속도이다.=

$$I_t \dot{\omega}_{in} = T_t - T_{c1} - T_{c2} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} I_{11} & I_{12} \\ I_{21} & I_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\omega}_{C1} \\ \dot{\omega}_{CR} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{Bmatrix} \quad (7)$$

where

$$I_{11} = I_{ci} + I_{rr} + 12.4595I_{si} + 4.2128I_{sr}$$

$$I_{12} = -(8.9297I_{si} + 6.2653I_{sr})$$

$$I_{21} = -(8.9297I_{si} + 6.2653I_{sr})$$

$$I_{22} = I_{cr} + I_{ri} + 6.4I_{si} + 9.3178I_{sr}$$

$$T_1 = T_{C1} + 3.5298(T_{C2} - T_{B1}) + 2.0525T_{B2}$$

$$T_2 = -(2.5298T_{C2} - T_{B1}) - 3.0525T_{B2} - T_S$$

## 4. 결론

2 심플방식의 변속기에 대한 검증에서 전체 시스템을 해석하여 구성한 운동방정식과 본 연구에서 정의한 행렬구성을 통해 유도한 운동방정식을 비교해 본 결과 동일한 식을 얻을 수 있음을 증명하였다. 이를 통해 부분요소를 결합하여 변속기를 구성하여 운동방정식을 유도하고자하는 본 연구의 타당성을 증명하였다고 보여진다.

## 후 기

2 심플방식의 변속기에 대해 본 연구의 결과를 검증하였으나 설계라는 측면에서 고려해 볼 때, 예상치 못한 오류가 발생할 수 있다는 점을 간과할 수 없다. 따라서 보다 많은 형태의 변속기에 대해 그 결과를 검증하고 중첩법에 대해 보완해야 할 필요성을 느낀다. 또한 클러치 및 브레이크 부분의 요소 모델링을 제어가 가능한 형태로 재해석하여 구성하는 것이 또한 보완되어야 할 점으로 본다.

## 참고문헌

1. 김인찬, 이승중, "라비노 방식 유성기어를 채택한 자동 변속기의 변속과도특성 해석" 한국 자동차 공학회 96년도 추계학술대회, 1996.
2. 박영일, 박찬일, "변속기 최적주행 알고리즘 개발을 위한 자동변속기의 동적특성 해석", 제 3회 G7 기술 논문집, p248-251, 1995.
3. Dean C. Karnopp, Donald L. Margolis, "System Dynamics 3<sup>rd</sup> edition".
4. Daryl L. Logan, "A First Course in the Finite Element Method 3<sup>rd</sup> edition", p35-37.
5. 남경표, 이승중, "2Simple Planetary Gears를 장착한 차량의 성능해석", 한국 기계학회 논문집 제 21권 제 11호, 1997.