

복합 유성 기어로 구성된 하이브리드 시스템 효율 분석

김 남 옥¹⁾ · 양 호 림¹⁾ · 조 성 태²⁾ · 박 영 일³⁾ · 차 석 원¹⁾

서울대학교 기계항공공학부¹⁾ · NGV(주)²⁾ · 서울산업대학교 기계설계 자동차 공학부³⁾

Analysis of the Efficiency of the Compound-split Hybrid Systems

Namwook Kim^{*1)} · Horim Yang¹⁾ · Sungtae Cho²⁾ · Yeong-il Park³⁾ · Suk Won Cha¹⁾

¹⁾School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

²⁾Next Generation Vehicle Technology Co., Seoul National University, Sinrim 9-dong, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Korea

³⁾School of Mechanical Design and Automation Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 143-739, Korea

(Received 17 January 2007 / Accepted 23 April 2007)

Abstract : The efficiency of the hybrid systems which are composed of compound planetary gear sets depend on the amount of the recirculating energy among the motors and battery. This paper studies the analysis of the system efficiency with the parameters, α , β , γ_a , γ_b and γ_s . The efficiency of the systems and the relative torque, speed and power of the power resources are represented by these parameters. The recuperating parameter k which makes the systems generalized is introduced, so the efficiencies of the modes such as the hybrid mode, the engine mode, the motoring mode and the recuperating mode are analyzed with simple equations. The tendency of the system efficiency according to the variations of the γ_s and k are studied, by which it can be possible to reduce the loss of the power because the strategies for avoiding the singular speed ratio γ_s are helpful for the system efficiency and specific value of k can increase the efficiency of the systems.

Key words : Dual mode hybrid(듀얼 모드 하이브리드), Compound split(복합 분기), Compound planetary gear sets(복합유성기어), HEV(하이브리드 시스템), System efficiency(시스템 효율)

1. 서 론

GM의 'Advanced Hybrid System'을 통해 소개된 듀얼 모드 시스템은 기존 직렬형 하이브리드 시스템의 동력 재순환시 발생하는 효율 저하 현상을 극복하고자 고안된 시스템이다.

본 논문은 듀얼 모드 시스템을 구성하는 복합 유성 기어시스템을 일반적으로 표현하고 그 효율을 해석하는 방법에 대해 논의하였다.

2. 복합 유성 기어 시스템의 구성

엔진과 모터가 항상 원하는 속도와 토크에서 작동하면서 동력을 전달할 수 있다면 이상적인 하이브리드 동력 전달 시스템이라 할 수 있다. 이를 위해서는 이상적으로 두 개의 모터가 무단 변속을 수행하면서 동시에 기계적 동력과 전기적 동력 간의 동력 전환 시 소모되는 동력을 최소화 하여야 한다. 복합 유성 기어 시스템은 기존의 THS와 비슷한 구조를 가지고 있으나 추가적인 유성 기어열을 사용하여 시스템 구성 자유도를 향상시킴으로써 동력 전달 효율을 증대하고자 하는 시스템이다.

*Corresponding author, E-mail: alde1@snu.ac.kr

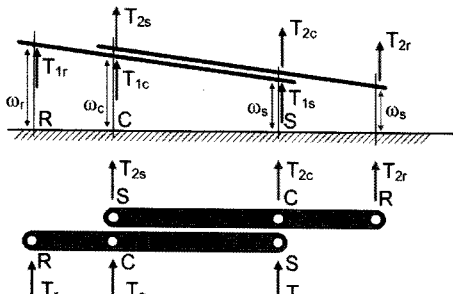


Fig. 1 Compound planetary gear sets

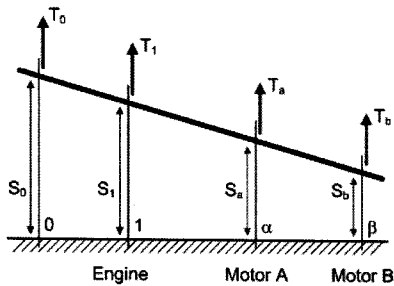


Fig. 2 Lever analogy for compound systems

Fig. 1은 첫 번째 유성 기어의 캐리어와 두 번째 유성 기어의 선기어, 첫 번째 유성 기어의 선기어와 두 번째 유성 기어의 캐리어가 연결되어 4 개의 작동점을 가지는 복합 유성 기어 시스템을 구성한 예다.

각 작동점에 엔진, 두 개의 모터, 동력 전달계 출력축을 연결하여 동력 전달 시스템을 구성할 수 있으며 이는 일반적으로 다음 Fig. 2와 같이 Lever 로 표현하여 해석할 수 있다.

Fig. 2에서 '0'의 위치에 존재하는 output 은 동력 전달계의 출력축, '1'의 위치는 엔진축을 나타내며, α와 β는 모터 A와 모터 B에 연결되는 축의 상대적인 위치를 나타내고 있다. S_0, S_1, S_a, S_b 는 출력축, 엔진, 모터 A, 모터 B의 속도, T_0, T_1, T_a, T_b 는 마찬가지로 출력축, 엔진, 모터 A, 모터 B에 작용하는 토크를 나타내고 있다. 엔진의 위치를 1, 출력축의 위치를 0으로 가정하고 각 모터의 위치를 α, β로 무차원화 할 때, 실제 동력원이 레버 상에 직결되어 작동하는 것으로 해석하였다.

3. 복합 유성 기어 시스템의 해석

앞서 정의된 상수를 바탕으로 복합 유성 기어 시

스템으로 구성된 동력 전달 시스템의 동력 전달 효율을 구할 수 있다.

3.1 Lever analogy를 이용한 시스템 해석

각 동력원의 상대적인 위치인 0, 1, α, β를 이용하여 토크 관계식을 구성하면 다음과 같다.

$$T_0 + T_1 + T_a + T_b = 0 \quad (1)$$

$$T_1 + \alpha T_a + \beta T_b = 0 \quad (2)$$

식 (1), (2)는 시스템의 관성을 고려하지 않은 식으로 레버의 모멘트 및 힘의 평형에 관한 관계식이다. 동시에 속도 구속 조건에 의해 다음 식 (3), (4)를 얻을 수 있다.

$$S_a = (S_1 - S_0)\alpha + S_0 \quad (3)$$

$$S_b = (S_1 - S_0)\beta + S_0 \quad (4)$$

또한 각 동력원의 동력량을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P_i = T_i \times S_i \quad (i=0, 1, \alpha, \beta) \quad (5)$$

여기에 배터리의 동력량을 나타내는 지수 k를 도입하여 배터리 동력량을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_b = k \times T_1 \times S_1 \quad (6)$$

식 (6)에서 도입한 상수 k를 이용하여 배터리의 동력 보정이 시스템의 특성에 미치는 영향을 분석할 수 있는데, 동력 전달 시스템의 변속비 γ를 다음 식 (7)과 같이 정의하고,

$$\gamma = \frac{S_1}{S_0} \quad (7)$$

엔진에 대하여 정규화된 $S'_0, S'_1, S'_a, S'_b, T'_0, T'_1, T'_a, T'_b$ 의 관계식을 얻을 수 있다.¹⁾

$$T'_0 + 1 + T'_a + T'_b = 0 \quad (8)$$

$$1 + \alpha T'_a + \beta T'_b = 0 \quad (9)$$

$$S'_a = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right)\alpha + \frac{1}{\gamma} \quad (10)$$

$$S'_b = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right)\beta + \frac{1}{\gamma} \quad (11)$$

여기에 각 작동점의 토크 값을 얻기 위해서는 추가적인 평형식을 고려해야 한다. 식 (6)을 제외한 (1)~(11)의 식은 Brendan 의 논문에서 인용하였다.¹⁾

$$\eta_a \times T'_a \times S'_a + \eta_b \times T'_b \times S'_b = k \quad (12)$$

위의 식 (12)에서 각 효율은 다음 식 (13)으로 정의된다.

$$\eta_i = \begin{cases} P_i > 0; & \frac{1}{\eta_{\text{motoring}}} \\ P_i < 0; & \eta_{\geq \text{rating}} \end{cases} \quad (i = a, b) \quad (13)$$

식 (8)~(13)을 만족하는 작동점을 해석하면 시스템의 동력 전달 효율을 얻을 수 있다.

3.2 하이브리드 효과를 고려한 시스템 해석

제시된 식 (9)~(12)는 엔진에 대해 무차원화된 각 동력원의 속도와 토크 특성을 나타내고 있다. 식 (9)와 (12)를 이용하여 작동점 α, β 에 작용하는 토크 관계식은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \eta_a \times S'_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \eta_b \times S'_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_a \\ T'_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ k \end{bmatrix} \quad (14)$$

이를 변속비에 관한 식으로 풀어낼 때, 다음과 같이 전환 변속비 γ_a, γ_b 와 특이 변속비 γ_s 를

$$\gamma_a = 1 - \frac{1}{\alpha} \quad (15)$$

$$\gamma_b = 1 - \frac{1}{\beta} \quad (16)$$

$$\gamma_s = 1 + \frac{\alpha\eta_b - \beta\eta_a}{\alpha\beta(\eta_a - \eta_b)} \quad (17)$$

로 정의하면, 토크 T'_a, T'_b 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$T'_a = \frac{\eta_b + k}{\alpha(\eta_a - \eta_b)} \times \frac{\left\{ \gamma - \gamma_b \left(\frac{\eta_b}{\eta_b + k} \right) \right\}}{\gamma - \gamma_s} \quad (18)$$

$$T'_b = \frac{\eta_a + k}{\beta(\eta_b - \eta_a)} \times \frac{\left\{ \gamma - \gamma_a \left(\frac{\eta_a}{\eta_a + k} \right) \right\}}{\gamma - \gamma_s} \quad (19)$$

마찬가지로 식 (8)을 이용하여 T'_0 를 얻으면 다음 식 (20)과 같다.

$$T'_0 = -1 - \frac{\frac{\eta_b}{\alpha}(\gamma - \gamma_b) - \frac{\eta_a}{\beta}(\gamma - \gamma_a) + k\gamma \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta} \right)}{(\eta_a - \eta_b) \times (\gamma - \gamma_s)} \quad (20)$$

식 (20)을 이용하여 동력 전달계 출력축의 토크를 얻고 변속비를 이용하여 출력축의 동력 및 시스템의 효율을 얻을 수 있다.

3.3 시스템의 동력 전달 효율

시스템을 구성하는 엔진과 배터리를 동등한 동력원으로 가정하고 복합 유성 기어 시스템의 동력 전달 효율을 출력축 동력과 동력원의 공급 동력의 비로 정의하면 다음과 같다.

$$eff_{\text{system}} = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{engine}} + P_{\text{battery}}} \quad (21)$$

배터리의 충전전 상태에 따라 시스템의 효율을 정의하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있으나 식 (21)과 같이 정의함으로써 시스템 효율을 일반적으로 해석할 수 있다. 위의 식 (21)에 상수 k 를 도입하면 시스템 효율은 다음 식 (22)와 같다.

$$\eta_s = \frac{-T_0 S_0}{(1+k)T_1 S_1} = -\frac{T'_0}{\gamma(1+k)} \quad (22)$$

식 (20)을 적용하여 변속비에 관한 함수로 표현하면 시스템 효율은 다음 식 (23)으로 얻어진다.

$$\eta_s = \frac{1}{\gamma(1+k)} + \frac{\frac{\eta_b}{\alpha}(\gamma - \gamma_b) - \frac{\eta_a}{\beta}(\gamma - \gamma_a) + k\gamma \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta} \right)}{\gamma(1+k) \times (\eta_a - \eta_b) \times (\gamma - \gamma_s)} \quad (23)$$

일반적으로 식 (23)은 하이브리드 모드로 주행 중에 적용할 수 있으나 k 의 값을 '0'으로 하면 엔진 모드의 시스템 효율을, '+∞'로 가정하면 모터 모드의 효율을, '-∞'로 가정하면 회생 제동 시의 효율을 얻을 수 있다. 단, 회생 제동 시 식 (23)의 값은 모터의 효율을 정의한 식 (13)의 경우와 마찬가지로 1보다 큰 값이 나오게 되며 이 값의 역수를 얻으면 익숙한 회생 제동 효율을 얻을 수 있다.

3.3.1 하이브리드 모드 및 엔진 모드 효율

식 (22)로 정의된 시스템 효율을 적용하면 하이브리드 주행 시에 k 값의 변화에 따라 변화하는 효율을 얻을 수 있는데, k 의 값이 '0'이 될 때 시스템은 단순한 전기적 무단 변속기로 작용하게 된다. 이러한 경

우는 하이브리드 시스템의 관점에서 엔진 모드로 분류되는데, 고속 도로 등에서 정속주행을 할 때 사용되는 모드로 시스템의 동력 전달 효율을 평가하는 기본적인 주행 모드가 될 수 있다.

시스템의 효율 곡선은 모터의 상대적인 위치를 결정하는 α, β 에 따라 달라진다. 임의로 α 는 -2, β 는 4, α 에 연결된 모터 A의 충방전 효율을 85%, β 의 모터 B는 80%로 가정하여 시스템의 동력 전달 효율을 얻으면 Fig. 3의 효율 곡선을 얻을 수 있다. Fig. 3에서 k 의 값이 '0'일 때 효율이 1이 되는 두 개의 변속비가 나타나는데 이는 각 모터의 토크 혹은 속도가 '0'에 값에 도달하는 변속비이다. 식 (15)와 식 (16)으로 얻어진 전환 변속비 $\gamma_a(1.5), \gamma_b(0.75)$ 가 바로 이에 해당한다. k 의 값이 '0'이 아닐 경우인 하이브리드 모드의 효율은 엔진 모드와 달리 시스템의

동력 전달 효율이 1이 되는 변속비가 존재하지 않으며 고 변속비에서는 충전할 때, 저 변속비에서는 방전할 때 시스템의 동력 전달 효율이 우수한 것으로 나타난다. 이러한 원인은 다음 Fig. 4를 통해 살펴볼 수 있다.

Fig. 4에서 모터의 충방전 동력량이 클수록 동력 전환 과정에서 소모되는 양이 많아져 그 만큼 시스템 효율이 저하되는데 Fig. 4에서 k 값에 따라 특정 변속비 영역에서 모터가 충방전해야 하는 동력의 양이 감소하므로 시스템 효율이 향상된다.

3.3.2 모터 모드 및 회생 제동 모드 효율

앞서 언급했듯이 모터 모드의 경우 k 의 값을 극한으로 가정하면 모터 모드 및 회생 제동 시의 효율 곡선을 얻을 수 있다. Fig. 5는 이를 나타내고 있는데 α 에 연결되어 있는 모터 A의 효율이 85% 이므로 모터 B의 속도가 '0'이 되어 모터 A 로만 구동되는 γ_b 에서는 시스템의 효율이 85%로 얻어지고, 반대로 γ_a 에서는 80%로 얻어진다. Fig. 5의 아래쪽 회생 제동 그래프에서 효율이 0이 되는 변속비는 모터 모드의 효율 50%인 변속비와 일치하는데 이 변속비는 이후 논의될 특이 변속비 γ_s 에 해당하며, 시스템을 정상 상태로 유지하기 위해 동력 순환 과정에서 소모되는 동력의 양이 출력축의 동력과 동일함을 의미한다.

따라서 특이 변속비 이상의 고 변속비에서 회생 제동하는 것은 불가능하거나 시스템의 효율을 저하시키며, 엔진 마찰로 손실되는 제동 에너지를 줄이

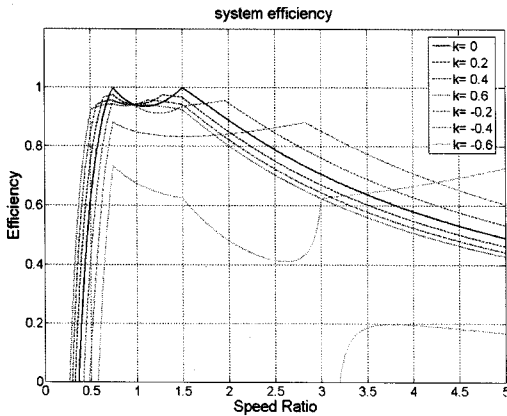


Fig. 3 System efficiency in accordance with k

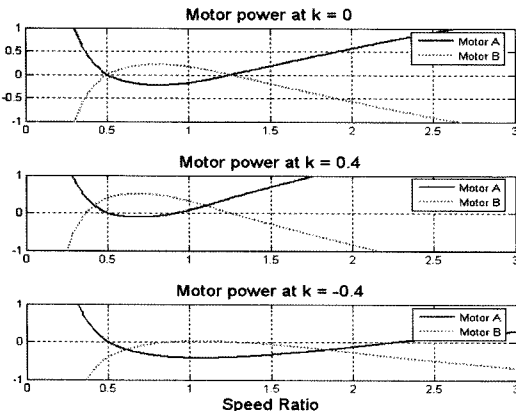


Fig. 4 Power ratios of motors in accordance with k

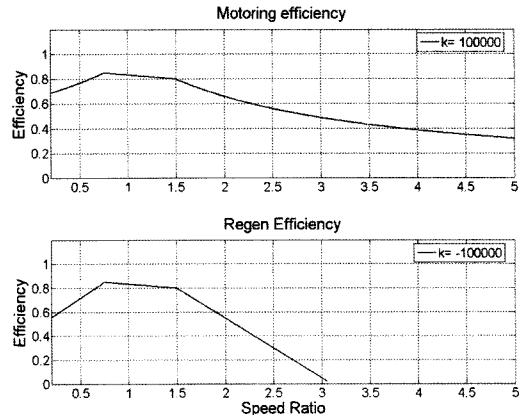


Fig. 5 Motoring and recuperating efficiency

기 위해 변속비 γ 를 '0'의 값에 근접하여 회생하는 것 또한 시스템의 효율을 저하시키거나 γ_s 에 의해 불가능할 가능성도 있다. 또한, 실제의 회생 제동은 엔진 속도에 따라 마찰이 존재하여 k 값을 음의 무한대로 가정할 수 없음을 고려해야 한다.

4. 시스템 작동 분석

4.1 γ_s 와 모터의 작동 영역 분석

모터의 충방전 작동 상태에 따라 식 (13)으로 주어지는 모터 효율이 결정되고 시스템의 γ_s 가 결정된다. Fig. 6은 모터 A와 모터 B의 충방전 상태를 γ 와 τ 에 대하여 도시한 것이며 τ 는 T_0' 와 동일한 토크비로 전환 토크비 τ_a, τ_b 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\tau_a = -\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \tag{24}$$

$$\tau_b = -\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \tag{25}$$

각 모터의 속도가 '0'이 되는 변속비 γ_a, γ_b 와 각 모터의 토크가 '0'이 되는 토크비 τ_a, τ_b 가 존재할 때, 모터의 충방전 전환은 $(\gamma_a, \tau_a), (\gamma_b, \tau_b)$ 를 기점으로 일어난다. 모터의 작동 영역에 따라 '+'는 방전, '-'는 충전을 의미하고 있고 각 영역에서 유효한 특이 변속비를 γ_{s+} 등으로 구분하였다. 식 (17)을 변형하여 γ_s 는 다음 식 (26)과 같은 특성을 나타낸다.

$$(\gamma_s - \gamma_a)(\gamma_s - \gamma_b) = \frac{\left(\frac{1}{\beta} - \frac{1}{\alpha}\right)^2 \eta_a \eta_b}{(\eta_a - \eta_b)^2} \tag{26}$$

식 (13)에 의해 η_a, η_b 는 언제나 양의 값을 가지게 되므로 식 (26)에서 γ_s 는 일반적으로 효율이 우수한 변속비인 γ_a 와 γ_b 의 사이에는 존재하지 않게 된다. 식 (18)~(20)에 따라 시스템이 유효한 γ_s 의 근처에서 작동하게 되면 시스템이 발산하여 동력 재순환량이 급격하게 증가하게 되므로 가능한 한 γ_s 의 값이 일반적인 작동 변속비 영역에서는 존재하지 않도록 하는 것이 유리하다.

4.2 임계 하이브리드 상수 k_c

Fig. 6 상의 곡선은 k 의 값이 '0'일 때와 음수일 경우 지나게 되는 γ, τ 작동점을 나타내고 있는데 k 값이 '0'일 경우 혹은 양수일 경우에는 시스템은 γ_{s+} 에 의해서 주로 저 변속비에서 제한을 받다가 k 값이 음수일 경우 특이 변속비 γ_{s+-} 의 영향을 받게 된다. 다음 식 (27)의 조건을 만족하는 k_c 값 보다 더 작은 k 값을 가지면서 배터리가 충전하게 되면 특이 변속비 γ_{s+-} 에서 시스템이 발산하게 된다.

$$\gamma_b \left(\frac{\eta_b}{\eta_b + k_c} \right) = \gamma_a \left(\frac{\eta_a}{\eta_a + k_c} \right) = \gamma_{s+-} \tag{27}$$

따라서 시스템의 하이브리드 회생, 혹은 회생 제동 시, 특이 변속비 근처에서 주행할 경우에는 임계 하이브리드 상수 k_c 의 범위 내에서만 충전해야 한다. γ_s 의 특성으로 인해 $\gamma_{s--}, \gamma_{s++}$ 등의 특이 변속비는 $\gamma_{s+-}, \gamma_{s-+}$ 의 외부에 존재하는데 유효한 영역이 작을지라도 특정한 시스템의 조건과 k 값에 따라 유효한 특이 변속비가 될 수 있으므로 역시 모터의 충방전 제어 시에 유의해야 한다.

4.3 전환 변속비와 효율 분석

식 (15)~(17)로 정의된 전환 변속비 γ_a, γ_b 과 앞서 설명한 특이 변속비 γ_s 는 시스템의 특성을 결정하는 주요한 상수로 작용한다. Fig. 7은 복합 유성기어 시스템의 효율을 변속비 γ 와 토크비 $\tau (\tau = T_0')$ 에 대해 나타낸 곡면 위에 k 값의 변화에 따른 효율 곡선

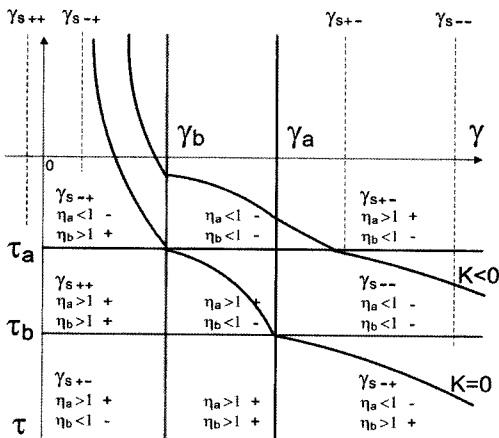


Fig. 6 Analysis of the operating regions of the motors

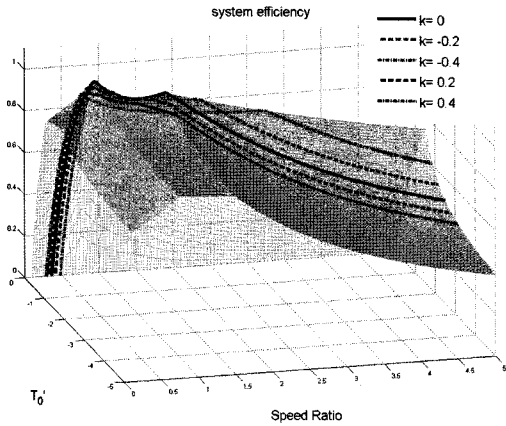


Fig. 7 System efficiency at speed and torque plane

을 도시한 그래프로 Fig. 3은 Fig. 7의 맵을 y축으로 정사영한 것이라 볼 수 있다. Fig. 7에는 Fig. 6을 통해 설명한 4 개의 변곡점이 존재하며 이는 γ_a , γ_b 와 τ_a , τ_b 의 교차점이다. 각 모터의 충전 전 상태에 따라 식 (17)의 특이 변속비 γ_s 가 결정되는데 Fig. 7의 변곡점 중 $\eta_{ab}(\gamma_a, \tau_b)$, $\eta_{ba}(\gamma_b, \tau_a)$ 는 두 모터의 동력이 동시에 '0'이 되는 작동점으로 동력 전달 효율은 '1'이 되고 k 값이 '0'일 경우에만 이 두 점을 지나는 작동점을 얻을 수 있다.

Fig. 7에서 k 의 값이 양의 값을 가질 때 그 효율은 점진적으로 Fig. 5의 위쪽 모터 모드 효율 곡선에도 도달하므로 그 효율이 크게 저하되지 않으나 k 의 값이 음의 값으로 변화하여 배터리의 충전량이 증가할수록 시스템의 효율은 급격하게 나빠지거나 효율이 '0'이 될 수 있다. 이는 앞서 논의한대로 회생 제동 모터의 작동 영역에 따른 특이 변속비 γ_s 의 특성에 따라 시스템의 효율이 크게 영향을 받을 수 있기 때문이다.

다음의 Fig. 8은 k 값이 '-4'인 곡선이 빨간색으로 표시되어 있는 회생 제동 시의 효율 그래프로 T_0' 의 값을 무한대로 보내어 y축으로 정사영하면 Fig. 5의 아래쪽 그래프와 일치한다. 같은 $\alpha(-2)$, $\beta(4)$ 값을 가진 시스템이지만 모터의 효율에 따라 Fig. 8 과 같이 제동 효율 특성이 변화하게 된다. 시스템 효율이 '0' 이하로 떨어지게 되면 전기적인 동력 전환 과정에서 소모되는 에너지가 입력되는 에너지보다 커지게 되어 시스템 구동의 의미가 사라지게 된다고 볼 수

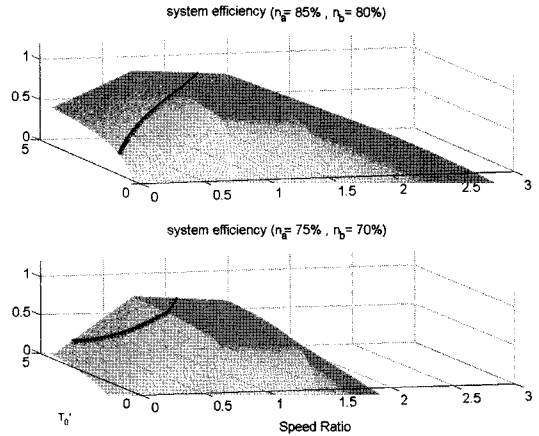


Fig. 8 Recuperating regions accordance with γ_s

있는데 Fig. 8의 경우에도 회생 제동 시 효율이 음의 값을 가지면 회생 제동을 하면서도 배터리가 동력을 보조해서 시스템 평형을 유지해야 함을 의미한다. 이를 피하려면 효율이 양의 값을 가지는 영역에서만 작동해야 하는데 결론적으로 γ_{s+} , γ_{s-} 사이의 변속비에서만 회생 제동이 가능하게 된다. 넓은 영역에서 회생 제동을 하기 위해 γ_s 를 차량이 일반적으로 작동하지 않는 음의 값, 혹은 큰 변속비 영역으로 보내야 하고, 이를 위해서는 모터의 효율을 향상시키거나 $\left| \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta} \right|$ 의 값을 증가시키는 방법이 있는데 결과적으로 이러한 방법들은 시스템의 효율을 향상시키는 방향과 일치한다.

5. 결론

- 1) 듀얼 모드 하이브리드 시스템을 구성하는 복합 유성 기어 시스템을 효율 및 특성을 결정하는 전환 변속비 γ_a , γ_b 와 특이 변속비 γ_s 를 정의하여 해석하였으며, γ_a , γ_b 부근에서는 시스템 효율이 우수하고 유효한 γ_s 부근에서는 시스템이 발산한다는 결론을 얻었다.
- 2) 하이브리드 상수 k 를 도입하여 그 값에 따른 시스템의 효율을 얻었고, 충전할 때는 고 변속비에서, 방전할 때는 저 변속비에서 효율이 향상되는 이유를 제시하였다. 또한 k 의 값을 극한으로 가 정하여 모터 모드 및 회생 제동 모드의 시스템 효

율을 얻을 수 있었다.

- 3) 시스템을 구성하는 두 모터의 작동 영역을 변속비 γ 와 토크비 τ 를 이용하여 정의하였고 시스템이 발산하지 않는 조건의 임계 하이브리드 상수 k_c 를 도출하였다. 또한, k 의 조건에 따라 γ_s 가 유효한 영역을 분석하였다. 회생제동은 γ_{s+} , γ_{s-} 의 사이 영역에서만 가능하며 이 영역을 확장하는 방법들은 전반적으로 시스템 효율을 향상시키는 방법과 일치한다는 결론을 얻었다.

References

- 1) B. Conlon, "Comparative Analysis of Single and Combined Hybrid Electrically Variable Transmission Operating Modes," SAE 2005-01-1162, 2005.
- 2) S.-T. Cho, K.-H. Ahn and J.-M. Lee, "Efficiency of the Planetary Gear Hybrid Powertrain," Automobile Engineering, IMechE, Vol.220, 2006.
- 3) N.-W. Kim, H.-R. Yang, K.-H. Ahn, S.-T. Cho, Y.-I. Park and S.-W. Cha, "Parametric Design of a Two-Mode Hybrid Powertrain," EVS-22 Proceedings, pp.1151-1162, 2006.
- 4) N.-W. Kim, H.-R. Yang, S.-T. Cho, Y.-I. Park and S.-W. Cha, "Control of the Hybrid System Composed of Compound Planetary Gear Systems," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.1611-1616, 2006.