

## 遊星齒車裝置의 變速比 Gear Ratio in Planetary Gear System

俞 炳 澈  
(高麗大學校 理工大)

### 1. 머릿 말

自動車가 實用化된 以來 그 性能을 더욱 向上시키고 그 操作을 더욱 簡便하게 하기 위하여 각종의 改良, 開發이 거듭되고 가지가지의 新案이 이루어져서 오늘날 自動車 各部의 機構를 살펴볼 때 그 精巧함에 놀라지 않을 수 없는 興味 있는 것들이 많다. 그 중의 하나로 自動變速機 들을 들 수 있다.

自動變速機에도 여러가지의 種類가 있으나 오늘날 그 대중을 이루고 있는 것은 流体클러치 또는 토오크 컨버터와 油壓에 의해서 自動操作되는 遊星齒車裝置의 組合으로 구성된 것이다. 그러므로 이들 自動變速機의 機能을 알기 위해

서는 遊星齒車裝置의 變速機構에 대한 理解가 될 수 적이나, 이에 대한 상세한 說明이 나와있는 文獻이 國內外的으로 드물어서 이 分野에 關心있는 사람들이 많은 어려움을 겪을 것으로 생각되어, 이하 이에 대한 解説을 해보려고 한다.

### 2. 簡單한 遊星齒車裝置

간단한 遊星齒車裝置는 그림 1에 표시한 바와 같이 링 기어 (ring gear), 遊星小齒車 케이지 (planet pinion cage)에 고정된 3개의 遊星小齒車 車軸上에서 자유로이 回轉할 수 있게 支持된 3개의 遊星小齒車 (planet pinion) 및 선 기어 (sun gear)의 3要素로 구성된다. 이 裝置는 遊星小

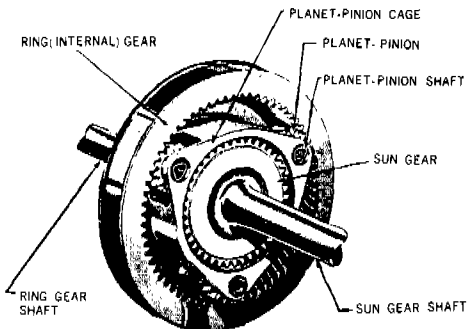


그림 1. 簡單한 遊星齒車裝置의 構成

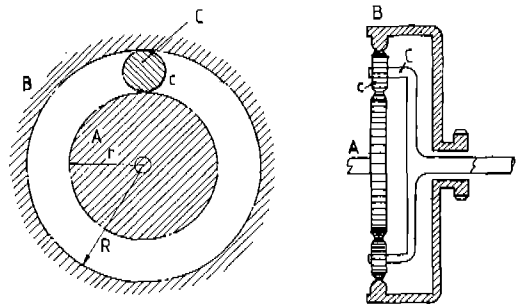


그림 2. 簡單한 遊星齒車裝置의 構造例

齒車가 遊星小齒車軸上에서 自轉하면서 선 기어의 주위를 회전하는 것이 마치 太陽系에서 遊星이 自轉하면서 太陽의 주위를 公轉하는 것과 같기 때문에 遊星齒車裝置라고 부르고 있다. 그림 1에는 링 기어軸과 선 기어軸만이 보이고 있으나, 그림 2와 같이 遊星小齒車케이지에도 軸을 붙일 수 있다.

遊星齒車裝置의 運動關係는 선 기어 A, 링 기어 B 및 遊星小齒車케이지軸 C의 回轉速度를 생각하면 되며, 遊星小齒車 c의 그 軸上에서의 回轉速度는 運動傳達速度와는 직접적인 관계가 없다. 지금

- $r$  = 선 기어 A의 피치圓 반지름
- $R$  = 링 기어 B의 피치圓 반지름
- $\omega_A$  = 선 기어 A의 回轉角速度, rad/s
- $\omega_B$  = 링 기어 B의 回轉角速度, rad/s
- $\omega_C$  = 遊星小齒車케이지軸 C의 回轉角速度, rad/s

- $n_A$  = 선 기어 A의 回轉速度, rpm =  $60 \omega_A / 2\pi$
- $n_B$  = 링 기어 B의 回轉速度, rpm =  $60 \omega_B / 2\pi$
- $n_C$  = 遊星小齒車케이지軸 C의 回轉速度, rpm =  $60 \omega_C / 2\pi$

- $Z_A$  = 선 기어 A의 齒數
- $Z_B$  = 링 기어 B의 齒數

라고 하고, 먼저 遊星小齒車케이지軸 C가 고정되었을 때, 즉  $\omega_C = 0$  일 때를 생각하면, 遊星小齒車의 圓周速度를 고려함으로써 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$r \omega_A = -R \omega_B$$

$$\therefore \frac{\omega_B}{\omega_A} = -\frac{r}{R} \dots \dots \dots (1)$$

여기에 陰記號는 선 기어 A와 링 기어 B의 回轉方向이 서로 逆方向임을 나타낸다. 여기서

$$\omega_B / \omega_A = n_B / n_A$$

이고 또한

$$\text{모듈울 } m = \frac{2r}{Z_A} = \frac{2R}{Z_B}$$

이므로 식 (1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{n_B}{n_A} = -\frac{r}{R} = -\frac{Z_A}{Z_B} \dots \dots \dots (2)$$

遊星小齒車케이지軸이 回轉할 때, 즉  $\omega_C \neq 0$  인 때에도 遊星小齒車케이지軸에 대한 相對運動을 생각하면 위의 경우와 마찬가지로

$$r(\omega_A - \omega_C) = -R(\omega_B - \omega_C)$$

$$\frac{\omega_B - \omega_C}{\omega_A - \omega_C} = -\frac{r}{R}$$

따라서

$$\frac{\omega_B - \omega_C}{\omega_A - \omega_C} = \frac{n_B - n_C}{n_A - n_C} = -\frac{r}{R} = -\frac{Z_A}{Z_B} \dots \dots \dots (3)$$

이 식은 그림 1, 그림 2에 표시된 바와 같은 간단한 遊星齒車裝置에 대한 變速比計算의 基礎式이며, 선 기어 A, 링 기어 B 및 遊星小齒車케이지軸 C의 3要素中 어느 2要素의 回轉速度를 알면 나머지 1要素의 回轉速度는 이 식에 의해서 결정된다. 이 관계는 또 그림 3에 표시한 바와 같이 計算圖表로 만들 수도 있다. 즉,

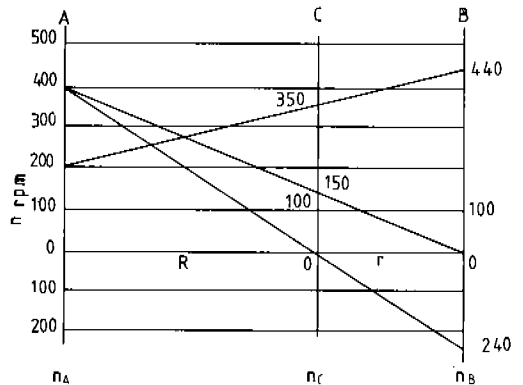


그림 3. 간단한 遊星齒車裝置의 速度線圖

그래프에 3개의 縱軸 A, C, B를 잡아서 A, B軸이 C軸으로부터 R 및 r(또는  $Z_B$  및  $Z_A$ )에 비례하는 거리에 있게 한다. 橫線에 의해서各一定回轉速度(rpm)를 나타내게 할 때, 선 기어 A, 링 기어 B, 遊星小齒車케이지軸 C 중의 어느 2要素의 回轉速度를 알면 나머지 1要素의 回轉速度를 이 線圖로부터 구할 수 있다. 이 線圖에서 C軸으로부터 R(또는  $Z_B$ )에 비례하는 거리에 있는 縱軸 A는 피치圓 반지름이 r(齒數

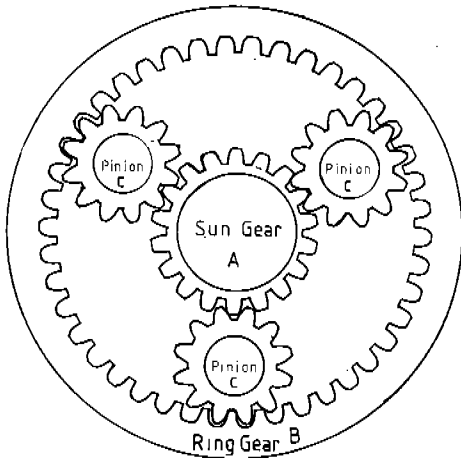
$Z_A$ )인 선 기어 A의 회轉速度를 표시하고, C軸으로부터  $r$  (또는  $Z_A$ )에 비례하는 거리에 있는 縱軸 B는 피치円 반지름이  $R$  (또는 齒數  $Z_B$ )인 링 기어 B의 회轉速度를 나타내며, 縱軸 C는 遊星小齒車케이지軸 C의 회轉速度(遊星小齒車  $c$ 의 회轉速度가 아님)를 나타낸다.

어떤 1要素의 회轉速度는 다른 2要素의 회轉速度를 나타내는 2點을 직선으로 연결함으로써 얻어진다. 예를 들어  $r/R = Z_A/Z_B = 3/5$ 인 때 선 기어 A가 400 rpm으로 회전하고 링 기어 B가 정지하고 있을 때는  $A = 400, B = 0$ 의 2點을 이은 직선이 C軸과 만나는 점은  $C = 150$  rpm이다. 거꾸로 링 기어 B가 고정되고 遊星小齒車케이지軸 C가 150 rpm으로 회전하고 있을 때는 선 기어 A의 회轉速度는 400 rpm이 된다.

선 기어 A가 400 rpm으로 회轉하고 遊星小齒車케이지軸 C가 정지하고 있을 때는 (이때 遊星小齒車  $c$ 는 그 자리에서 회전한다) 링 기어 B는  $-240$  rpm, 즉 逆方向으로 240 rpm으로 회전한다.

만일 선 기어 A와 遊星小齒車케이지軸 C가 다 100 rpm으로 같은 方向으로 회轉할 때(이때 이 2要素는 固着되었다고 한다)는 링 기어 B도 함께 100 rpm으로 회전한다. 즉 전체가 一체로 되어서 회轉한다.

다음에 또 그림 4에 표시된 바와 같은 간단



$Z_A = 18, Z_B = 42, Z_C = 12$

그림 4. 간단한 遊星齒車裝置의 例

한 遊星齒車裝置를 생각해본다. 이 경우 선 기어 A의 齒數  $Z_A = 18$ , 링 기어 B의 齒數  $Z_B = 42$ , 遊星小齒車  $c$ 의 齒數  $Z_C = 12$ 이다. 이때 이 遊星齒車裝置의 3要素 중의 하나를 고정하고 다른 하나를 회전시킬 때 나머지 하나의 회轉速度가 어떻게 변화하는가를 살펴본다.

(1) 선 기어 A가 고정되고 遊星小齒車 케이지軸 C의 驅動에 의하여 링 기어 B가 돌러질 때는 遊星小齒車케이지軸의 회轉速度를  $n_c$  rpm, 링 기어 B의 회轉速度를  $n_b$  rpm이라고 할 때 선 기어 A의 회轉速度  $n_a = 0$ 이므로 式(3)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{n_b - n_c}{0 - n_c} = -\frac{Z_A}{Z_B} = -\frac{18}{42} \dots \dots \dots (4)$$

$$\therefore n_b/n_c = 10/7$$

즉 被動側의 회轉速度가 驅動側의 회轉速度의 10/7배가 되므로 이 때는 增速이 된다.

(2) 선 기어 A가 고정되고 링 기어 B의 驅動에 의하여 遊星小齒車케이지軸이 돌러질 때, 즉 (1)의 경우와 비교해서 驅動側과 被動側이 반대인 경우에는 式(4)가 그대로 成立되므로

$$n_c/n_b = 7/10$$

즉 이 경우에는 被動側이 驅動側의 7/10배의 속도로 회전하므로 減速이 된다.

(3) 링 기어 B가 고정되고 遊星小齒車케이지軸 C의 驅動에 의하여 선 기어 A가 돌러질 때는  $n_b = 0$ 이므로 式(3)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{0 - n_c}{n_a - n_c} = -\frac{Z_A}{Z_B} = -\frac{18}{42} \dots \dots \dots (5)$$

$$\therefore n_a/n_c = 10/3$$

즉 被動側이 驅動側의 10/3배의 속도로 회전하므로 이 때는 增速이 된다.

(4) 링 기어 B가 고정되고 선 기어 A의 驅動에 의하여 遊星小齒車케이지軸 C가 돌러질 때, 즉 (3)의 경우와 비교해서 驅動側과 被動側이 반대인 경우에는 式(5)가 그대로 成立되므로

$$n_c/n_a = 3/10$$

즉 被動側이 驅動側의 3/10배의 속도로 회전하므로 이 때는 減速이 된다.

(5) 遊星小齒車케이지軸 C가 고정되고 링 기어 B의 驅動에 의하여 선 기어 A가 돌려질 때 式 (3)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{n_B - 0}{n_A - 0} = -\frac{Z_A}{Z_B} = -\frac{18}{42} \dots \dots \dots (6)$$

$$\therefore n_A/n_B = -7/3$$

즉 이 경우는 遊星小齒車가 間齒車(idler gear)로서 작용하는 경우이며 陰記號는 驅動側과 被動側의 회전방향이 반대임을 표시하고, 被動側이 驅動側의 7/3 배의 속도로 회전하므로 이 때는 增速逆轉이 된다.

(6) 遊星小齒車케이지軸 C가 고정되고 선 기어 A의 驅動에 의하여 링 기어 B가 돌려질 때, 즉 (5)의 경우와 비교해서 驅動側과 被動側이 반대인 경우에는 式 (5)가 그대로 成立되므로

$$n_B/n_A = -3/7$$

즉 이 경우에도 遊星小齒車는 間齒車로서 작용하며 陰記號는 회전방향이 반대임을 나타내고, 被動側이 驅動側의 3/7배의 속도로 회전하므로 이때는 減速逆轉이 된다.

以上을 종합하면 표 1과 같다.

표 1.

條 件	1	2	3	4	5	6
링 기 어 B	被動	驅動	固定	固定	驅動	被動
遊星小齒車 케이지軸 C	驅動	被動	驅動	被動	固定	固定
선 기 어 A	固定	固定	被動	驅動	被動	驅動
速 度	增速	減速	增速	減速	增速逆轉	減速逆轉

이상은 간단한 遊星齒車裝置에 있어서 그 3要素 중의 하나를 고정하고, 나머지 2要素 중의 하나가 驅動側, 다른 하나가 被動側이 되는 경우이었으나, 이밖에 다음과 같은 2가지의 경우가 있다.

(7) 遊星齒車裝置의 3要素 중의 임의의 2要素를 서로 相對運動을 하지 못하게 固着시킬 때, 예를 들어 선 기어 A와 遊星小齒車케이지軸 C를 固着시켜서  $n_A = n_C$ 가 되도록 할 때는 式 (3)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{n_B - n_C}{n_A - n_C} = -\frac{Z_A}{Z_B} = -\frac{18}{42}$$

$$n_B - n_C = -\frac{18}{42}(n_A - n_C) = 0$$

$$\therefore n_B = n_C = n_A$$

즉 遊星齒車裝置의 3要素는 모두 固着되어 (相對運動이 없음) 一体로 되어서 회전하며 被動側과 驅動側의 回轉速度가 같으므로 速度變化가 생기지 않는 直結驅動的의 경우가 된다. 이것은 선 기어 A와 링 기어 B를 固着시켜서  $n_A = n_B$ 로 할 때나, 링 기어 B와 遊星小齒車케이지軸 C를 固着시켜서  $n_B = n_C$ 로 할 때에도 같은 결과로 된다.

(8) 遊星齒車裝置의 3要素 중 어느 하나도 固定되지 않고 또 어느 2개도 固着되지 않을 때는 動力는 전달되지 않으며 驅動側은 회전을 하여도 被動側은 회전을 하지 않고 나머지 1要素가 空轉을 할 뿐이다.

위에서 본 바와 같이 간단한 遊星齒車裝置를 적당히 사용하면 增速, 減速, 增速逆轉, 減速逆轉, 直結驅動 등을 할 수 있음을 알 수 있다.

### 3. Wilson 變速機의 變速比

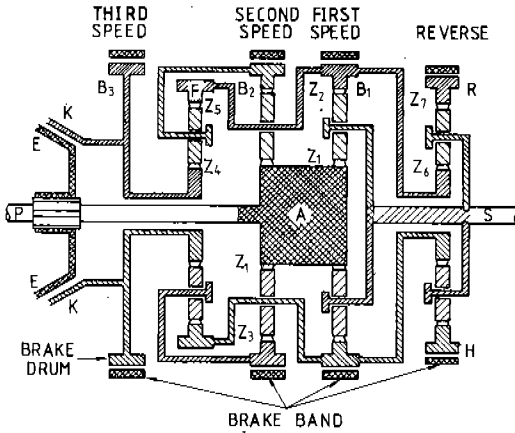
그림 5는 遊星齒車式 變速機로서 가장 유명한 Wilson 變速機를 표시하며 그 구조는 그림에 표시된 바와 같이 4개의 밴드 브레이크와 4組의 遊星齒車群 및 1개의 摩擦클러치로 구성되어 있다. 第1, 第2, 第3速 및 後進의 各 變速段階는 각각의 브레이크 드럼을 制動함으로써 얻어지며, 또 브레이크를 사용하지 않고 클러치를 作動시키면 第4速, 즉 直結로 된다. 지금

$Z_1$  : 第1速 브레이크 드럼  $B_1$  및 第2速 브레이크 드럼  $B_2$ 에 연결된 遊星齒車裝置의 선 기어의 齒數(驅動軸 P에 연결된 A에 만들어진 기어의 齒數) = 25

$Z_2$  : 第1速 브레이크 드럼  $B_1$ 에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어의 齒數 = 77

$Z_3$  : 第2速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어의 齒數 = 77

$Z_4$  : 第3速 브레이크 드럼  $B_3$ 에 연결된 遊星



E : 摩擦円錐, P : 驅動軸, S : 被動軸  
 $Z_1 = 25, Z_2 = 77, Z_3 = 77, Z_4 = 28$   
 $Z_5 = 68, Z_6 = 37, Z_7 = 77$

그림 5. Wilson 變速機

齒車裝置의 선 기어의 齒數=28

$Z_5$  : 第3速 브레이크 드럼  $B_3$ 에 연결된 遊星

齒車裝置의 링 기어의 齒數=68

$Z_6$  : 後進 브레이크 드럼 R에 연결된 遊星齒車裝置의 선 기어의 齒數=37

$Z_7$  : 後進 브레이크 드럼 R에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어의 齒數=77

$n_p$  : 驅動軸 P (A와 一體)의 回轉速度, rpm

$n_s$  : 被動軸 S의 回轉速度, rpm (이것은 또 第1速 브레이크 드럼  $B_1$ 에 연결된 遊星齒車裝置의 遊星小齒車케이지軸 또는 後進 브레이크 드럼 R에 연결된 遊星齒車裝置의 遊星小齒車케이지軸의 回轉速度이기도 하다).

$n_{B1}$  : 第1速 브레이크 드럼  $B_1$ 에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어의 回轉速度, rpm (이것은 또 第2速 브레이크 드럼  $B_2$ 에 연결된 遊星齒車裝置의 遊星小齒車케이지軸, 第3速 브레이크 드럼  $B_3$ 에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어 및 後進 브레이크 드럼 R에 연결된 遊星齒車裝置의 선 기어의 回轉速度이기도 하다)

$n_{B2}$  : 第2速 브레이크 드럼  $B_2$ 에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어의 回轉速度, rpm (이것은 第3速 브레이크 드럼  $B_3$ 에 연결된 遊星齒車裝置의 遊星小齒車케이지軸의 回轉速度이기도 하다)

$n_{B3}$  : 第3速 브레이크 드럼  $B_3$ 에 연결된 遊星齒車裝置의 선 기어의 回轉速度, rpm

$n_R$  : 後進 브레이크 드럼 R에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어의 回轉速度, rpm

라고 할 때 各 段階의 變速比는 다음과 같이 된다.

第1速 : 第1速 브레이크 드럼이 制動되는 경우이며 ( $n_{B1} = 0$ ), 이때 第1速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置에 대하여 式 (3)을 적용하면

$$\frac{n_{B1} - n_s}{n_p - n_s} = -\frac{Z_1}{Z_2}$$

$n_{B1} = 0$  및  $Z_1, Z_2$ 의 값을 代入하여

$$\frac{0 - n_s}{n_p - n_s} = -\frac{25}{77}$$

$$\therefore n_p/n_s = 4.08$$

즉 第1速의 경우의 變速比는 4.08이다.

第2速 : 第2速 브레이크 드럼을 制動하는 경우이며 ( $n_{B2} = 0$ ), 이때 第2速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置에 대하여 式 (3)을 적용할 때 그 遊星小齒車케이지軸이 第1速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어에 연결되어 있음을 감안하면

$$\frac{n_{B2} - n_{B1}}{n_p - n_{B1}} = -\frac{Z_1}{Z_3}$$

$n_{B2} = 0$  및  $Z_1, Z_3$ 의 값을 代入하여

$$\frac{0 - n_{B1}}{n_p - n_{B1}} = -\frac{25}{77}$$

$$\therefore n_{B1} = \frac{25}{102} n_p \dots\dots\dots (7)$$

또 한편 이때 第1速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置에 대하여 式 (3)을 적용하면

$$\frac{n_{B1} - n_s}{n_p - n_s} = -\frac{Z_1}{Z_2}$$

윗 式에 式 (7)과  $Z_1, Z_2$ 의 값을 代入하면

$$\frac{(25n_p/102) - n_s}{n_p - n_s} = -\frac{25}{77}$$

$$\therefore n_p/n_s = 2.33$$

즉 第2速의 變速比는 2.33이다.

第3速 : 第3速 브레이크 드럼을 制動하는 경우이며 ( $n_{B3} = 0$ ), 第3速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置에 대하여 式(3)을 적용할 때 그 링 기어 F가 第2速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置의 遊星小齒車케이지軸 및 第1速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어에 연결되어 있고, 또 그 遊星小齒車케이지軸은 第2速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어에 연결되어 있으며 그 선 기어는 第3速 브레이크 드럼과 연결되어 있음을 감안하면

$$\frac{n_{B1} - n_{B2}}{n_{B3} - n_{B2}} = -\frac{Z_4}{Z_5}$$

$n_{B2} = 0$  및  $Z_4, Z_5$ 의 값을 대입하여

$$\frac{n_{B1} - n_{B2}}{0 - n_{B2}} = -\frac{28}{68}$$

$$\therefore n_{B2} = \frac{17}{24} n_{B1} \dots\dots\dots (8)$$

다음에 이 경우의 第2速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置에 대하여 式(3)을 적용하면,

$$\frac{n_{B2} - n_{B1}}{n_p - n_{B1}} = -\frac{Z_1}{Z_3}$$

윗 式에 式(8)과  $Z_1, Z_3$ 의 값을 대입하여,

$$\frac{(17n_{B1}/24) - n_{B1}}{n_p - n_{B1}} = -\frac{25}{77}$$

$$\therefore n_{B1} = \frac{600}{1139} n_p \dots\dots\dots (9)$$

또한 이 경우의 第1速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置에 대하여 式(3)을 적용하면,

$$\frac{n_{B1} - n_s}{n_p - n_s} = -\frac{Z_1}{Z_2}$$

윗 式에 式(9)와  $Z_1, Z_2$ 의 값을 대입하여,

$$\frac{(600n_p/1139) - n_s}{n_p - n_s} = -\frac{25}{77}$$

$$\therefore n_p/n_s = 1.56$$

즉 第3速의 變速比는 1.56이다.

直結 : 이 경우는 摩擦円錐部 E를 滑動시켜서 円錐部 K와 결합시키는 경우이며 ( $n_{B3} = n_p$ ), 第3速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置에

대하여 式(3)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{n_{B1} - n_{B2}}{n_{B3} - n_{B2}} = -\frac{Z_4}{Z_5}$$

$n_{B3} = n_p$ 이므로

$$\frac{n_{B1} - n_{B2}}{n_p - n_{B2}} = -\frac{28}{68}$$

$$\therefore n_{B2} = \frac{17}{24} n_{B1} + \frac{7}{24} n_p \dots\dots\dots (10)$$

이 경우에 第2速 브레이크 드럼  $B_2$ 에 연결된 遊星齒車裝置에 대하여 式(3)을 적용하면

$$\frac{n_{B2} - n_{B1}}{n_p - n_{B1}} = -\frac{Z_1}{Z_3}$$

윗 式에 式(10)과  $Z_1, Z_3$ 의 값을 대입하면

$$\frac{\frac{17}{24} n_{B1} + \frac{7}{24} n_p}{n_p - n_{B1}} = -\frac{27}{77}$$

$$\therefore n_p = n_{B1}$$

즉, 이 경우에는 第1速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置에 있어 링 기어  $B_1$ 과 선 기어 (이 경우 驅動軸 A에 만들어짐)가 固着되는 경우이며 이 때는 前述한 바와 같이 遊星齒車裝置의 3要素가 모두 固着되어 一体로 되어서 回轉한다. 따라서,

$$n_p = n_s$$

로 되어 直結驅動이 된다.

後進 : 이때는 後進 브레이크 드럼 R이 制動되며 ( $n_R = 0$ ), 後進 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置를 생각할 때 그 선 기어가 第1速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置의 링 기어에 연결되어 있고 또 그 遊星小齒車케이지軸이 被動軸에 연결되어 있으므로 이 경우에 대한 式(3)은 다음과 같이 된다.

$$\frac{n_R - n_s}{n_{B1} - n_s} = -\frac{Z_6}{Z_7}$$

$n_R = 0, Z_6 = 37, Z_7 = 77$ 이므로

$$\frac{0 - n_s}{n_{B1} - n_s} = -\frac{37}{77}$$

$$n_{B1} = \frac{114}{37} n_s \dots\dots\dots (11)$$

다음에 第1速 브레이크 드럼에 연결된 遊星齒車裝置에 대하여 式(3)을 적용하면

$$\frac{n_{B1}-n_s}{n_p-n_s} = -\frac{Z_1}{Z_2}$$

윗 식에 식(11)과  $Z_1, Z_2$ 의 값을 대입하여

$$\frac{(114n_s/37)-n_s}{n_p-n_s} = -\frac{25}{77}$$

$$\therefore n_p/n_s = -5.41$$

즉, 後進의 경우의 變速比는 5.41이다.

#### 4. 變形된 遊星齒車裝置

그림 6은 역시 變速機에 사용되는 形式의 遊星齒車裝置의 例를 표시한다. 이 그림에서 기어 A는 그림 2의 경우의 선 기어 A에 해당하고 기어 B는 그림 2의 경우의 링 기어 B에 해당하나 그림 6의 경우에는 內側齒車가 아닌 점이 그림 2와 다르다. 또 그림 2의 경우의 遊星小齒車 c에 해당하는 것이 그림 6에서는 2개의 一體로 된 기어 A' 및 B'이며, 이때도 역시 그 軸上에서 自轉하면서 선 기어 A의 주위를 公轉하므로 이것을 遊星小齒車라고 부르고 軸 C를 遊星小齒車케이지軸이라고 부른다. 지금

- $R_1$  : 선 기어 A의 피치円 반지름
- $R'_1$  : 遊星小齒車 A'의 피치円 반지름
- $R'_2$  : 遊星小齒車 B'의 피치円 반지름
- $R_2$  : 기어 B의 피치円 반지름
- $\omega_A$  : 선 기어 A의 回轉角速度, rad/s
- $\omega_{A'}$  : 遊星小齒車 A'의 回轉角速度, rad/s

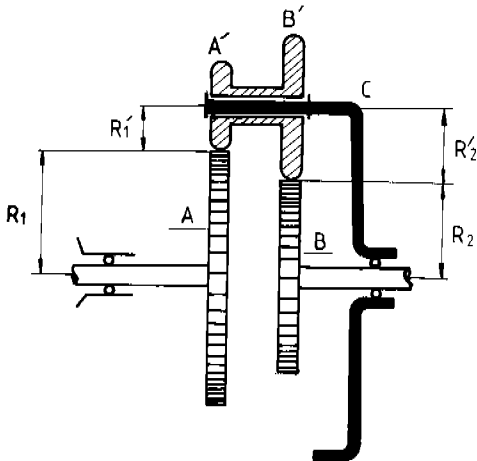


그림 6. 變形된 遊星齒車裝置

$\omega_{B'}$  : 遊星小齒車 B'의 回轉角速度, rad/s =  $\omega_{A'}$

$\omega_B$  : 기어 B의 回轉角速度, rad/s

$n_{A'}$  : 遊星小齒車 A'의 回轉速度, rpm  
=  $60\omega_{A'}/2\pi$

$n_{B'}$  : 遊星小齒車 B'의 回轉速度, rpm  
=  $60\omega_{B'}/2\pi = n_{A'}$

$n_B$  : 기어 B의 回轉速度, rpm

$n_C$  : 遊星小齒車케이지軸 C의 回轉速度, rpm

$Z_A$  : 선 기어 A의 齒數

$Z_{A'}$  : 遊星小齒車 A'의 齒數

$Z_{B'}$  : 遊星小齒車 B'의 齒數

$Z_B$  : 기어 B의 齒數

라고 하고 먼저 遊星小齒車케이지軸 C가 고정되었을 때, 즉  $n_C = 0$  일 때를 생각하면

$$\frac{n_{A'}}{n_A} = \frac{\omega_{A'}}{\omega_A} = -\frac{R_1}{R'_1} = -\frac{Z_A}{Z_{A'}} \dots\dots\dots(12)$$

$$\frac{n_B}{n_B'} = \frac{\omega_B}{\omega_{B'}} = -\frac{R'_2}{R_2} = -\frac{Z_{B'}}{Z_B} \dots\dots\dots(13)$$

기어 A'와 B'는 一體로 되어 있으므로  $n_{A'} = n_{B'}$ 이다. 따라서 식(12)의 兩邊에 각각 식(13)의 兩邊을 곱하면,

$$\frac{n_B}{n_A} = \frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{R_1}{R_2} \frac{R'_2}{R'_1} = \frac{Z_A Z_{B'}}{Z_B Z_{A'}} \dots\dots\dots(14)$$

遊星小齒車케이지軸 C가 回轉할 때, 즉  $n_C \neq 0$  인 때에도 遊星小齒車케이지軸 C에 대한 相對運動을 생각하면 위의 경우와 마찬가지로

$$\frac{n_B - n_C}{n_A - n_C} = \frac{\omega_B - \omega_C}{\omega_A - \omega_C} = \frac{R_1 R'_2}{R_2 R'_1} = \frac{Z_A Z_{B'}}{Z_B Z_{A'}} \dots\dots\dots(15)$$

이 식이 그림 6에 있어서의 선 기어 A, 기어 B 및 遊星小齒車케이지軸 C의 回轉速度間의 관계를 표시하는 식이다. 이 관계를 計算圖表로 나타내기 위해서는 그림 7과 같이 선 기어 A의 回轉速度  $n_A$ 의 軸과 기어 B의 回轉速度  $n_B$ 의 軸을 遊星小齒車케이지軸 C의 回轉速度  $n_C$ 의 軸에 관해서 같은 쪽에 잡고  $n_A$  軸은  $n_C$  軸으로부터  $R_2 \times R'_1$  (또는  $Z_B \times Z_{A'}$ )에 비례하는 거리에, 그리고  $n_B$  軸은  $n_C$  軸으로부터  $R_1 \times R'_2$  (또는  $Z_A \times Z_{B'}$ )에 비례하는 거리에 있게하면 된다. 이 計算圖表의 사용법은 그림 3의 경우와 동일하며, 예를 들어 遊星小齒車케이지軸 C의 回轉速

도가 200 rpm 이고 기어 B의 회轉速度가 C와 반대방향으로 50 rpm 이면 선 기어 A의 회轉速度는 遊星小齒車케이지軸 C와 반대방향으로 100 rpm 이 된다.

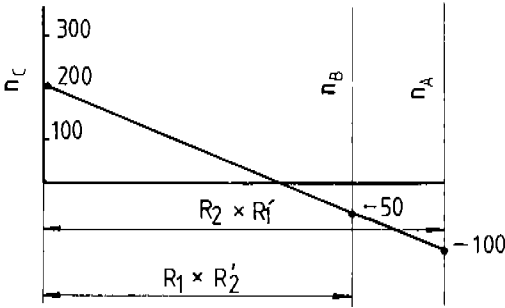
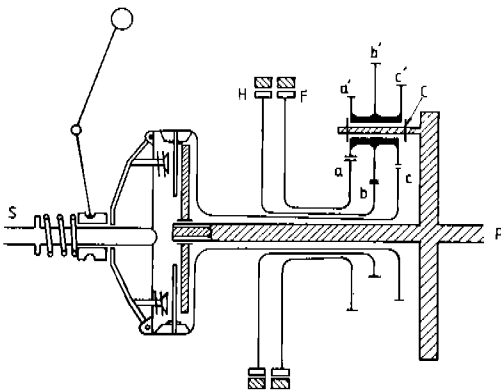


그림 7. 變形된 遊星齒車裝置의 速度線圖

이 裝置도 간단한 遊星齒車裝置의 경우와 마찬가지로 2組 또는 3組의 遊星小齒車를 사용하여 몇 가지의 變速比를 얻을 수 있다. 1例로서 과거에 T型 Ford에 채용되어 大量生産되었던 變速機의 變速比를 계산해본다. 그림 8에 있



P : 크랭크軸 S : 變速機主軸  
 H, F : 브레이크 드럼  
 齒數 :  $Z_a = 30, Z_{a'} = 24, Z_b = 21, Z_{b'} = 33$   
 $Z_c = Z_{c'} = 27$

그림 8. T型 Ford의 變速機

어 레버에 의해서 操作되는 클러치는 驅動軸 P와 被動軸 S를 直結하는 경우에만 作動시키며 그 이외의 경우에는 사용되지 않는다. 브레이크가 解放된 위치에 있고 또 브레이크 드럼 H와 F에 브레이크가 작용하지 않을 때는 被動軸은 어떤 회轉運動도 하지 않는다. 즉 變速機는 中立位置에 있다. 브레이크 드럼 H를 制動하면 이에 연결된 기어 b가 制動되며 이에 의해서 기어 b, b', c' 및 c가 作動에 들어간다. 즉 驅動軸 P는 그림 6의 경우의 遊星小齒車케이지軸 C에 해당하고 기어 b, b', c' 및 c는 각각 그림 6의 경우 기어 A, A', B' 및 B에 해당하게 된다. 또한 기어 c는 被動軸 S에 연결되어 있다. 따라서 이때 動力은 驅動軸 P로부터 b, c'를 통하여 被動軸 S로 전달되며 이 경우에 기어 a, a'는 회轉은 하나 動力은 전달되지 않는다. 즉 空轉한다. 지금

- $n_p$  : 驅動軸 P의 회轉速度, rpm
- $n_a$  : 기어 a의 회轉速度, rpm
- $n_b$  : 기어 b의 회轉速度, rpm
- $n_c$  : 기어 c의 회轉速度, rpm
- $n_s$  : 被動軸 S의 회轉速度, rpm
- $Z_a$  : 기어 a의 齒數
- $Z_{a'}$  : 기어 a'의 齒數
- $Z_b$  : 기어 b의 齒數
- $Z_{b'}$  : 기어 b'의 齒數
- $Z_c$  : 기어 c의 齒數
- $Z_{c'}$  : 기어 c'의 齒數

라고 하면 이 경우 식(15)는 다음과 같이 된다. 즉

$$\frac{n_c - n_p}{n_b - n_p} = \frac{Z_b Z_{c'}}{Z_c Z_{b'}}$$

기어 b는 制動되어 있으므로  $n_b = 0$ 이며 기어 c는 被動軸 S에 연결되어 있으므로  $n_c = n_s$ 이다. 따라서 위 식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{n_s - n_p}{0 - n_p} = \frac{21 \cdot 27}{27 \cdot 33}$$

$$\therefore n_p / n_s = 33 / 12$$

이것이 이 變速機의 第1速이다.

다음에 브레이크 드럼 F를 制動하는 경우를 생각한다. 이때는 F에 연결된 기어 a가 制動되며 이에 의해서 기어 a, a', c' 및 c가 作動에 들



어진다. 즉 이때는 驅動軸 P 가 그림 6의 遊星小齒車케이지軸 C에 해당하고 기어 a, a', c' 및 c가 그림 6의 A, A', B' 및 B에 해당하게 된다. 기어 c는 이때도 被動軸 S에 연결되어 있다. 따라서 動力은 驅動軸 P로부터 a, a', c를 통하여 被動軸 S로 전달되고 기어 b, b'는 이 動力傳達과는 관계없이 空轉한다. 이 경우에 대하여 式 (15)를 적용하면

$$\frac{n_c - n_p}{n_a - n_p} = \frac{Z_a Z_c'}{Z_c Z_a'}$$

$n_a = 0$  및  $n_c = n_s$ 의 관계로부터

$$\frac{n_s - n_p}{0 - n_p} = \frac{(30)(27)}{27(24)}$$

$$\therefore n_p/n_s = -4$$

이것이 이 變速機의 後進變速比이다.

그림 8의 경우에는 遊星小齒車가 2組인 경우로서 이 變速機에서 얻어지는 變速段數는 直結, 第1速, 後進 뿐이나, 遊星小齒車의 數를 증가하면 變速段數를 증가시킬 수 있다.

### 5. 遊星齒車裝置의 長短點

위에서 본 바와 같이 遊星齒車裝置를 사용할 때는 所定의 變速比를 얻기 위하여 그 3要素 중의 1要素를 固定시킬 뿐이고 平行軸齒車式의 變速機에서와 같이 기어의 물림의 組合를 바꾸지 않아도 되며 따라서 變速레버를 操作할 필요가 없고 變速操作이 容易하다. 遊星齒車裝置에는 몇 개의 遊星小齒車(보통 3개)가 있으므로 같은 動力을 전달하는 平行軸齒車式에 比하여 기어의 접촉면적이 넓어서 齒面에 작용하는 負荷率이 작으며 傳動效率도 平行軸齒車式의 경우보다 좋다.

또한 遊星齒車裝置를 사용할 때 直結의 경우에는 전체가 一體로 되어서 회전하고 기어 간의 相對運動이 없으므로 傳動效率이 크고 作動도 정속하다.

그러나 遊星齒車裝置는 組立部品の 數가 많고 기어의 製作, 組立 및 調整이 다소 어려우며 가격이 비싸고 分解 修理하기가 복잡한 것이 단점이다.

### 6. 맺 음 말

前述한 바와 같이 순전한 遊星齒車만으로 된 變速機는 옛날에 T型 Ford에 채용되어 大量生産된 일이 있으나 Ford가 그 사용을 중지한 후로는 英國의 Wilson gear, 프랑스의 Cotal gear 등이 Lanchester, Daimler Benz, Rapier 등의 車에 사용된 예가 있을 뿐이고 量産車에는 사용되지 않고 있다.

그러나 遊星齒車裝置는 近來 流体클러치 또는 토오크 컨버터와 결합되어 自動變速機를 구성함으로써 그 有用性을 견지하고 있다.

이들 自動變速機는 주로 先進諸國의 高級乘用車에만 사용되고 高價인 것, 燃料消費量이 많아지는 것, 補修가 어려운 것 등의 이유로 우리나라에서는 거의 사용되지 않았으나 최근에는 國産車에도 導入品이기는 하나 自動變速機를 붙인 것이 나타나기 시작하였다.

이와같은 시기에 이 分野에 관심이 있는 우리 技術人에게 다소나마 참고가 될까하여 評소의 講義案을 정리하여 보았다.

### 參 考 文 獻

1. William H. Crouse, "Automotive Transmissions and Power Trains," McGraw-Hill, 1959.
2. 前田利一, 他, "自動車 下卷," 日本機械學會, 東京, 1950.
3. 大野泰雄 譯 "實用自動車工學 シュン編," 山海堂, 東京, 1971.
4. 俞炳澈, "自動車工學," 治庭文化社, 1980.