

## 특장차용 제설기의 설계

박찬일\*·김대식\*\*

### The Design of a Snow Plow for the Special Equipment Vehicle

Chan Il Park, Dae-Sik Kim

**Key Words:** snow plow(제설기), special equipment vehicle(특장차), CAD(전산기 이용설계)

#### Abstract

This study deals with the design of snow plow for the special equipment vehicle. The purpose of the study is to develop the snow plow that can install in the special equipment vehicle such as clean up vehicle or dump truck in winter season. To do so, it is designed by 3 sub-assembly - snow shovel, main frame, and hydraulic cylinder and its support. The snow shovel consists of 3 pieces to meet the road profile and to exchange easily the damaged parts. Main frame connects the snow shovel with the hydraulic cylinder and its support and supports the weight of snow. Finally, the hydraulic cylinder and its support move the snow shovel up and down and tilt it. We designed it using 3D commercial CAD software for concurrent engineering design.

#### 1. 서 론

겨울철에 눈이 많이 내리고 산간도로가 많이 분포된 지역은 항상 교통의 두절과 사고에 접하게 되는데, 이를 방지하게 위해서는 무엇보다도 빠른 제설 작업이 필요로 하게 된다. 하지만 각 지방단체의 제설 장비와 인력 부족 문제로 제설 작업이 제대로 이루어지지 못하는 곳이 많이 있다. 제설 장비는 외국 제품인 경우에 성능은 우수하지만 비용이 너무 많이 드는 문제점이 있으며, 국내에서 생산되는 제품은 가격에 비해 질이 많이 떨어지는 것이 사실이다. 본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 국내·외의 제품들을 검토하고 장비 운용자들의 불편함 점을 고려하여 설계에 임하였으며, 평상시에는 특장차로 사용하고 제설이 필요할 때에는 제설기를 장착하여 사용하는 특장차용 제설기를 개발하는 것을 목적으로 한다.

먼저 기존에 생산되어 있는 제품에 대해 자료 수집 및 검토를 하고 적정한 특장차를 선정하였다. 다음으로 제설기구에 대한 개념설계와 특장차에 장착 가능성 및 장착부위를 검토하고 제설할 수 있는 눈의 양과 이 때 걸리는 하중을 해석하고 특장차의 주행저항 및 여유구동력을 계산하여 차량바퀴와 노면 마찰을 고려한 적정한 제설량을 결정하였다. 선정된 제설량을 토대로 제설기구가 제설할 수 있도록 기구학적으로 집합한 운동 메카니즘이 되도록 해석하고 이에 적합한 유압기구의 제원과 용량을 선정하였다. 선정된 제설량에 근거하여 제설기구의 각 부위에 걸리는 힘과 모멘트에 의한 응력을 계산하고 이를 설계의 기본으로 삼아 설계 구조에 반영하여 최적한 구조를 도출하였다. 이를 위하여 각종 요소 설계 및 제설량 선정을 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하였고 저 비용으로 제작이 가능하도록 재질과 구조를 선정하고 설계에 이를 반영하였다. 이러한 해석이 완료되면 앞서 기구학적 해석, 응력 해석 및 선정된 유압기구를 토대로 제설기를 상세 설계하고 이를 도면화 하였다. 그리고 도로 조건 및 부품의 파손시 저가의 비용으로 보완할

\* 강릉대학교 정밀기계공학과 교수

\*\* 강릉대학교 정밀기계공학과 대학원

수 있도록 삽날부를 3부분으로 설계하고 장착 및 탈착이 편리하도록 삽날부와 프레임부, 유압지지부로 나누었다. 설계와 해석이 차후 동시 공학적으로 유기적이고 빠른 시일에 연결될 수 있도록 모든 설계는 3차원 CAD 소프트웨어를 이용하여 설계하였다.

## 2. 설계

### 2.1 설계 기본 해석

#### 2.1.1 제설량의 계산

제설량을 구하기 위해서는 먼저 삽날부분에 의해 제설되는 눈의 부피를 구해야 한다. 이를 위해서 제설되는 눈의 부피를 가로·세로 길이가 같고 빗변이 45° 인 이등변삼각형을 단면으로 하고 높이를 삽날부분의 길이로 하는 삼각기둥으로 가정하였다. 이렇게 계산된 전체 부피에서 눈의 무게와 제설 중에 생겨나는 물의 무게를 적정 비율로 고려하여 각각 계산한다. 물의 무게를 계산할 때 물의 밀도는 0°C의 것을 사용하고, 눈의 무게를 계산할 때는 지면에 눈이 그대로 쌓여 있을 때와 다져져 있을 때의 눈의 밀도를 각각 고려해서 계산한 다음 설계상의 악조건을 고려하여 다져져 있을 때의 눈의 밀도를 선정해서 계산한 결과 438.75kg을 눈의 무게로 선택한다.

#### 2.1.2 주행저항 및 여유구동력 계산

주행저항 및 여유구동력은 특장차와 관련하여 계산되는 식으로 제설 작업을 하는데 있어서 특장차가 충분한 동력을 가지는가를 판단하는데 필요하다.

총 주행저항에 사용되는 식 중에 구름저항은

$$R_r = \mu_r W \cdot \cos \theta \quad (1)$$

여기서  $\mu_r = 0.034 + 0.004S$ 이며  $S$ 는 적설량,  $W = W_0 + \Delta W_1 + \Delta W_2$ 이며  $W_0$ 는 공차중량,  $\Delta W_1$ 은 적재중량,  $\Delta W_2$ 는 제설무게,  $\theta$ 는 도로구배로  $\tan \theta$ 에서 계산하였다.

공기저항은

$$R_l = \mu_l A V_a^2 \quad (2)$$

여기서  $\mu_l = 0.0024$ ,  $A$ 는 차량의 단면적,  $V_a$ 는 차량속도이다.

가속저항은

$$R_a = \frac{a}{g} (W + \Delta W) \quad (3)$$

여기서  $a$ 는 차량가속도,  $\Delta W = 0.6W_0$ 로 1속 트럭의 경우를 사용하였다.

구배저항은

$$R_s = W \cdot \tan \theta \quad (4)$$

이다. 총 주행저항은 (1)~(4)의 저항을 모두 합하여 다음 식과 같이 된다.

$$R = R_r + R_l + R_a + R_s \quad (5)$$

여유구동력에 사용되는 식은 다음과 같다.

$$N_s = N_e \cdot \eta_t - \frac{RV}{207} \quad (6)$$

여기서  $N_e$ (ps)는 기관의 출력,  $\eta_t$ 는 동력전달 효율이고 수동변속기일 경우 0.94, 자동변속기일

Table 1 Specification of vehicle

삽날 높이 (m)	삽날 길이 (m)	공차 중량 (kg)	적재 중량 (kg)	차량 전고 (m)	차량 전폭 (m)	차량 속도 (km/h)	가속도 ( $m/s^2$ )	기관 출력 (ps)
0.75	2.6	4685	500.0	2.541	2.355	10.0	1.5	183.0

Table 2 Road loads and spare power

제설무게 (kg)	적설높이 (cm)	도로구배 ( $\tan \theta$ )	구름저항 (kg)	공기저항 (kg)	가속저항 (kg)	구배저항 (kg)	총 주행 저항(kg)	주행저항 마력(ps)	여유마력 (ps)
438.8	10	0.0	416.158	1.301	1271.827	0.000	1707.176	63.229	108.791
		5.0	415.638	1.301	1271.827	275.337	1987.844	73.624	98.396
		10.0	414.092	1.301	1271.827	550.675	2267.485	83.981	88.039
	20	0.0	641.107	1.301	1271.827	0.000	1932.125	71.560	100.460
		5.0	640.308	1.301	1271.827	275.337	2212.513	81.945	90.075
		10.0	637.926	1.301	1271.827	550.675	2491.319	92.271	79.749
	30	0.0	866.057	1.301	1271.827	0.000	2157.075	79.892	92.128
		5.0	864.977	1.301	1271.827	275.337	2437.182	90.266	81.754
		10.0	861.957	1.301	1271.827	550.675	2715.152	100.561	71.459

경우 0.85로 하였다.  $R(\text{kg})$ 은 총 주행저항,  $V(\text{km/h})$ 는 차의 속도이다.

이 설계에서 고려된 특장차의 차량제원과 주행저항에 사용된 차량속도와 가속도를 Table 1에 나타내었다.

이 식들을 이용하여 주행저항과 여유동력을 컴퓨터 프로그램에 의해 계산하였으며 Table 2는 컴퓨터 프로그램에 의해 계산된 적설량과 도로구배에 따라서 변화되는 주행저항과 여유구동력을 일부분 나타내었다.

## 2.2 삽날부 설계

삽날부는 특장차의 크기 즉, 소·중·대형에 따라 단독으로 쓰일 때와 2, 3부분으로 나누어서 연결하여 쓰인다. 여기서는 Table 1에 있는 차량을 기준으로 장착성과 도로구배를 고려하여 3부분으로 나누어 설계를 하였다. 주요 역할은 눈과 삽날부의 운동 메카니즘에 의해서 제설기가 과도한 하중을 받지 않으면서 쉽게 제설이 이루어지도록 하는 것이다. 이렇게 하기 위해서는 적당한 곡률 반경을 선정하는 것이 무엇보다 중요하다. 곡률 반경은 특장차의 제원과 동력 그리고 국내·외 제품의 치수를 분석하여 크기에 맞게 선정하였다.

다음으로 삽날부와 프레임부를 연결하는 장치가 필요하게 되는데 이것은 핀을 사용하여 삽날 3부분 각각에 상하좌우 네 개의 핀을 설치하는 것을 기본으로 하여 제설시 제설량으로 인해 하중이 프레임에 고르게 분포하고 기구학적인 운동이 적절하도록 핀의 위치를 선정한다. 하중은 앞서 구한 제설무게로 하고 삽날부 핀의 상하 위치를 계산한 후 가운데와 좌우 삽날에 위치할 핀의 위치를 선정한다. 그런 다음 각 핀에 걸리는 힘과 모멘트를 평형방정식에 의해 구한다. 이렇게 구한 핀의 위치 중에서 가장 취약한 부분의 핀을 고려해서 핀의 지름과 재질을 선정한다.

삽날부는 도로의 표면과 닿아서 제설 작업을 하게 되므로 비포장도로나 굴곡이 있는 표면에서 작업을 하는 경우가 있다. 이때 금속 재질이 지면과 바로 닿게 되면 소음과 진동이 심하게 발생을 하고 마찰력이 커져서 하중이 증가하므로 큰 동력의 특장차가 필요로 하게 된다. 이를 방지하기 위해서 삽날의 아랫부분 즉 지면과 닿는 부분은 고무를 사용하여 미끄러짐이 되도록 많이 발

생하도록 하며 고무 재질은 강도가 큰 것을 사용하여 마모가 되도록 적게 되는 것을 선정한다. 고무 재질은 금속성 재질보다 소모가 빨리 되어 교환이 다른 것보다 많이 이루어지므로 탈착이 쉽고 견고하게 결합되도록 볼트로 체결하는 방식을 사용한다.

## 2.3 프레임부 설계

프레임부는 삽날부와 유압지지부의 중간에 위치하게 되며 전체 제설기를 지탱하는 중심이 된다. 프레임부는 3부분으로 나뉘어져 있는 삽날부와 핀으로 연결되고, 유압지지부와는 연결 프레임과 좌우 유압실린더 고정 부위와 연결되어진다. 프레임부의 주요 역할은 3부분으로 나뉘어진 삽날을 합쳐서 좌우 유압실린더에 의한 회전이 이루어지도록 하는 것이다.

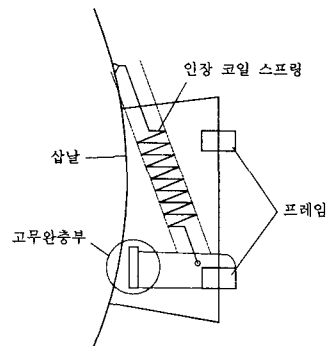


Fig.1 Tensile coil spring between snow shovel and main frame

삽날부와 프레임부 사이는 Fig.1과 같이 핀과 스프링으로 연결을 하게 되는데 스프링의 역할은 삽날의 아랫부분이 요철로 인해 뒤쪽으로 너무 치우쳐질 때 스프링의 복원력으로 제자리에 위치되도록 하는 것이다. 여기에 사용되는 스프링의 종류는 인장코일스프링으로 선정하고 그에 맞는 스프링 강성과 장착되는 길이를 계산하여야한다. 또한 최대 인장시의 길이를 계산하여 스프링의 총 권수와 자유길이, 코일의 지름을 결정하기 위해 컴퓨터 프로그램을 개발하여 사용하였다.

삽날부와 프레임부는 이렇게 핀과 스프링에 의해 연결이 되어 있지만 삽날부의 급격한 충격으로 인해서 핀의 파손이나 스프링의 복원이 안 되는 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해

서 삽날과 일정한 간격을 두고 프레임에 고정되는 고무 완충 구간이 필요하다.

삽날부와 프레임부의 연결은 핀에 의해서 이루어지는데, 이 핀의 지지부는 삽날의 핀 부착위치와 동일한 위치의 프레임 상·하단에 핀지지 위치를 결정하고 삽날부에서 오는 충격에 충분히 견딜 수 있도록, 그렇게 해서 과도한 하중이 가해졌을 때 핀이 파손되어 교환할 수 있도록 설계를 하고, 교환시 탈착이 용이하도록 카바를 씌워 볼트를 체결하는 방식으로 한다.

또한 프레임부는 도로의 폭 방향 경사로 인해 삽날이 도로 면을 따라 무리 없이 제설을 할 수 있도록 약간의 회전이 이루어져야 한다. 하지만 이 부분에서 좌우로의 진동이 발생하게 되므로 이를 방지하기 위해 압축코일스프링을 설치해야 한다. 이 압축코일스프링은 하중에 따라 사용재질과 코일의 지름, 권수, 감김 방향, 자유길이 등을 결정한다.

프레임부에서 마지막으로 고려해야 할 사항은 제설기의 제설 작업시 프레임부의 처짐과 삽날과 지면의 마찰력을 줄이고 제설기 자체를 특장차에 탈착이 용이하게 하기 위한 방안으로 좌우 양쪽에 바퀴를 설치한다. 이 바퀴는 제설기 탈착을 위해 상·하로 움직일 수 있도록 하고, 어느 쪽이든지 움직일 수 있게 회전하도록 설계를 한다. 바퀴에 걸리는 하중은 제설기를 충분히 지지할 수 있어야 하므로 삽날, 프레임, 제설무게를 모두 고려해서 계산하고, 바퀴의 상·하 운동과 큰 하중을 고려해서 내부적으로 30° 사다리꼴 나사로 작동하게 설계를 한다. 또한 바퀴부분도 소모 및 파손으로 인해 교환이 용이하도록 설계를 한다.

#### 2.4 유압실린더 및 유압지지부 설계

제설기에 있어서 유압장치 부분은 특장차에 장착되어 삽날을 상하좌우로 움직이게 하는 기능을 가지고 있으며 그에 필요한 지지부 설계와 적정 유압실린더를 선정해야 한다.

유압실린더는 삽날부와 프레임부를 상하로 움직이게 하는 중간 수직 이동 유압실린더와 좌우로 회전이 되게 하는 좌우 유압실린더가 필요하다. 중간 수직 이동 유압실린더는 삽날부와 프레임부 그리고 제설량의 일부를 모두 들어올리는데에 충분한 동력을 가지도록 하며, 이 유압실린더 지지부의 위치는 기구학적인 운동에서 간섭이

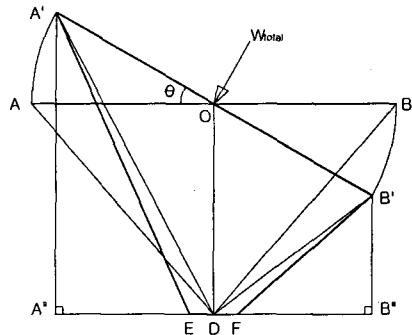


Fig.2 Kinematic relation of tilted snow plow

생기지 않도록 하며, 유압실린더의 길이를 선정하기 위해 그 위치까지 길이를 계산한 다음 유압실린더의 최장 및 최단 길이를 계산하고, 들어올리는 무게와 실린더 직경을 고려하여 필요 유압을 결정한다.

Fig.2는 회전축 O를 중심으로 하여 프레임 AB가 각 θ(최대 30°)만큼 회전하여 A'B'위치로 되었을 때 좌우 유압실린더의 최대 길이 A'E와 최소 길이 B'F를 구하는 기하학적 관계를 나타낸 것으로, OD는 프레임과 유압지지부 사이의 거리이며 DE와 DF는 좌우 유압실린더의 고정위치로 같은 거리이고 또한 W<sub>total</sub>은 제설무게와 삽날무게를 합한 하중이다. 좌우 유압실린더는 삽날이 회전축을 중심으로 하여 일정 각도로 움직이게 하는 힘을 주는 장치로서, 이 유압실린더의 역할은 제설 작업시 제설차량에 걸리는 하중이 작아지도록 하고 눈의 운동 메카니즘에 의해 제설이 쉽게 되도록 하는 것이다. 이 유압실린더는 공간상의 제약과 회전되는 각에 의해 2단 유압실린더를 선정하고 그에 따른 좌우에 걸리는 하중은 다음과 같이 계산한다.

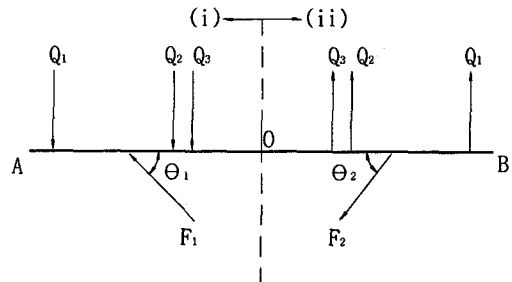


Fig.3 Free body diagram of main frame

$$F_1 = \mu \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{\sin \theta_1} = \mu \frac{0.5W_{total}}{\sin \theta_1} \quad (3)$$

여기서 Fig.3은 제설기의 프레임부를 간략히 나타낸 것으로 선분AB는 프레임부의 길이, 점O는 힌지점,  $Q_1, Q_2, Q_3$ 는 각각 편의 위치에서의 하중을 나타내는 것으로서 이 하중은 제설무게, 삽날부 무게, 프레임부 무게를 포함한 것이다. 그리고  $F_1, F_2$ 는 전·후진시 좌우 유압실린더의 하중을,  $\theta_1, \theta_2$ 는 그 각도를 각각 나타낸 것이다. 이렇게 하중을 계산한 후 중간 수직 이동 유압실린더에서와 같은 방법으로 실린더의 최장 및 최단 길이를 결정하고 필요 유압을 구한 다음 실린더의 고정 방식을 결정해서 최적의 2단 유압실린더를 설계한다.

유압지지부는 특장차와 연결하는 부분, 중간 수직 이동 유압실린더와 좌우 유압실린더의 지지부분, 프레임부와 유압지지부를 연결하는 연결프레임의 지지부분이 포함된다. 특장차와 연결되는 부분은 특장차의 앞 범퍼 부분에 장착을 하므로 그 높이가 특장차의 범퍼 높이를 고려해서 치수를 선정하고 그 폭도 마찬가지로이다. 중간 수직 이동 유압실린더의 장착 위치는 외부실린더의 직경과 고정위치를 파악하고 탈착이 용이하도록 볼트로 고정시키는 방법을 채택한다. 좌우 유압실린더의 지지부분은 연결프레임과 작동시 간섭이 생기지 않도록 프레임의 부착위치와 같은 평면상에 위치하도록 하며 하중에 충분히 견딜 수 있는 재질과 두께를 선정한다. 그리고 연결프레임 지지부분 또한 프레임의 장착되는 위치와 같은 평면상에 위치하도록 한다.

연결프레임은 상부와 하부로 나뉘어지고 프레임의 힌지점과 실린더 고정 부위의 지지 사이를 연결시켜 주는 역할을 하며 그에 필요한 하중해석과 치수를 결정한다. 하중은 기하학적 형태를 삼각형상으로 하고 그에 따른 빗변에 해당하는 프레임으로 전달되어지는 하중을 치수와 연관지어 계산한다. 상부와 하부 연결프레임은 형태는 동일하며 추가적으로 하부는 삽날부와 프레임부를 들어올리는 중간 수직 이동 유압실린더의 고정 위치 선정과 그 부분의 응력해석 및 연결하는 편에 관한 해석이 포함된다. 중간 수직 이동 유

압 실린더의 실린더 외벽 고정 위치는 유압지지부의 상단으로 하고 실린더 하단은 실린더의 전·후진이 원활하도록 최대한 수직으로 한다.

### 2.5 설계 결과 및 도면

이상과 같은 설계 과정을 거쳐 계산된 치수를 3차원 캐드 소프트웨어를 이용하여 설계하였다. Fig.4는 직접 제설하는 삽날부이고 Fig.5는 삽날부와 유압지지부를 연결하는 주 프레임, Fig.6은 유압지지부를 설계한 그림이다. 그리고 Fig.7과 Fig.8은 삽날부와 주 프레임, 유압지지부를 모두 조립한 그림이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 전용제설기가 아니더라도 특장차를 사용하여 평상시에는 일반 특장차량으로 사용하다가 제설 작업이 필요할 때 제설기를 장착하여 사용할 수 있도록 기본 개념을 잡았으며, 제설기 설계에 있어서 고려해야 할 사항들을 제시하였다. 또한 중소기업에서 충분히 제작이 가능하도록 제작비용과 재질을 고려하여 설계하였고 모든 부품을 3차원 솔리드 모델링하여 설계와 해석이 유기적으로 연결될 수 있는 동시공학 설계가 가능하도록 하였다. 이를 토대로 하여 전용제설기를 구입하지 않더라도 쉽게 제설기를 제작하여 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

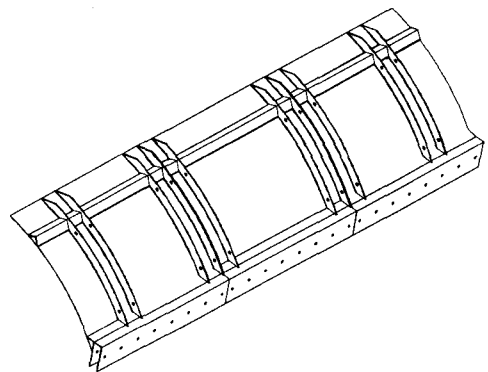


Fig.4 Snow shovel

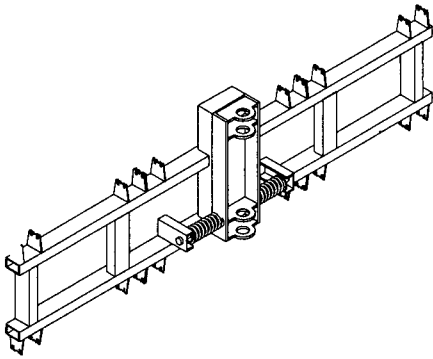


Fig.5 Main frame

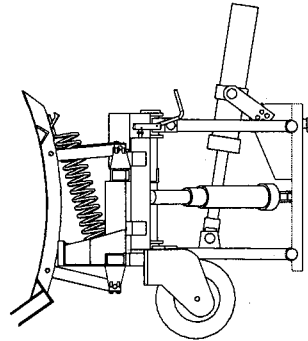


Fig.8 Assembled snow plow - side view

### 후기

이 연구는 '99 강릉대학교 산학연 컨소시엄 과제  
 로 관계자에게 감사 드립니다.

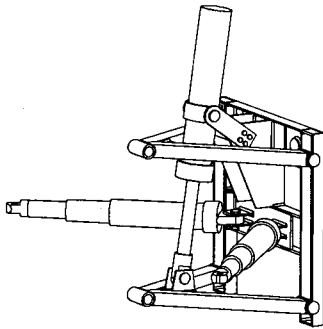


Fig.6 Hydraulic cylinders and its support

### 참고문헌

- (1) 유현일, 1996, "기계설계공학," 제3판, 동명사.
- (2) Stephen H.Crandall, Norman C.Dahl and Thomas J.Lardner, 1978, *An Introduction to The Mechanics of Solids*, Second Edition With SI Units, McGraw Hill, Singapore.
- (3) Michael J.Pinches and John G.Ashby, 1988, *Power Hydraulics*, pp.127~151.
- (4) 조선휘, 이장무 공역, 1997, "기구학," 회중당, pp.44~69.
- (5) J. E. Shigley and C. R. Mischke, 1989, *Mechanical Engineering Design*, 5th ed., McGraw Hill, NY.
- (6) 1999, "SolidWorks99 User's Guide,"
- (7) 편집부 엮음, 1999, "기계 설계 규격 및 데이터·북," 일진사.
- (8) 장병주, 1999, "신편 자동차 공학," 동명사.
- (9) T.D. Gillespie, 1992, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE.

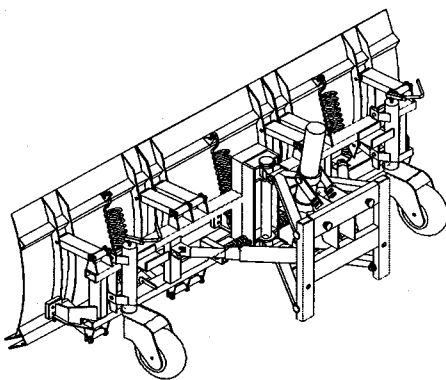


Fig.7 Assembled snow plow - isometric view