

다 목적 제설장비 시스템 설계

이 장 용[†]

한국생산기술연구원

Configuration Design of Multi Purpose Snow Removal System

Jangyong Lee

Smart system R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Cheonan-si, 331-825, Korea

Snow removal system is named for machinery which manages roads for passing of pedestrians and automobiles when snow is piled up on the road. This paper studies configuration design of snow removal system that has several functions-melting snow in the street without moving it to other place, transferring snow to the melter and cleaning road by spraying water for cleaning road. These sorts of functions are analyzed by function decomposition method of Kirshman and Fadel and, based upon which, machine parts are selected. Layout design would follow functional design to testify if the selected component satisfies space which is allowed by constraints.

Keywords: Snow Eraser, Configuration Design, Snow Blower, Snow Melter, System Engineering

1. 서론

제설장비는 동절기에 도로에 쌓인 눈을 제거하기 위해 사용되는 장비로서 트럭과 같은 운반기구에 장착하여 사용되는 제설기, 밀어놓은 눈을 옮겨 담거나 운송하기 위해 필요한 포크레인, 덤프트럭 등을 모두 통칭한다. 본 논문에서는 기존의 제설 방법과 달리 현장에서 직접 용해에 의해 제설작업을 수행하며 살수장치와 같이 기존의 도로관리용 장비의 부착이 가능한 다 목적 제설장비의 개념설계 과정을 수록하였다.

본 논문의 제설장비는 이동하며 눈을 용해할 수 있는데, 트럭에 용해장비를 탑재하여 눈이 녹은 용해수는 따로 저장하였다가 배수구로 배출하는 기능을 갖추으로써 용해된 눈을 도로에 배출하여 다시 얼게 되는 상황에 대비하였다. 또한 도로의 눈은 블로워를 이용해 용해장비까지 이송된다.

다 목적 제설장비의 개념설계는 설계목표를 위한 기능분해를 수행하고 세분된 기능에 대응하는 부품 어셈블리들을 구성하는 단계로 진행하였으며 이러한 과정을 <Figure 1>에 도식적으로 표현하였다. 본 논문에서는 Kirschman and Fadel의 기

능분해 방법(Kirschman and Fadel, 1998)을 활용하여 <Figure 1>의 기능분해(Functional analysis)를 수행하였다. 그리고 그림의 설계순서에 따라 다 목적 제설장비의 개념설계 과정을 기술하였고 본 논문에서 제시한 설계방법을 다 목적 제설 시스템의 설계에 적용해 보고자 한다.

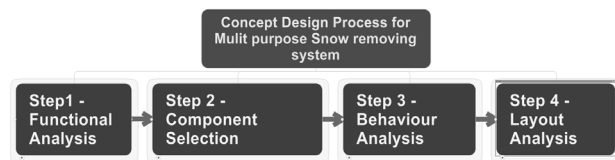


Figure 1. Conceptual design process of snow removal system
(Lee, Park, Choi, Bang, and Kim, 2011)

2. 기능분석

다 목적 제설장비에 요구되는 기능을 가장 추상적인 수준에

이 논문은 국토해양부에서 시행한 교통체계효율화사업(다목적 제설장비 개발)의 결과임.

[†] 연락처자 : 이장용, 331-825 충남 천안시 서북구 입장면 흥천리 35-3 한국생산기술연구원, Tel : 041-589-8417, Fax : 041-589-8231,

E-mail : caravan@kitech.re.kr

2011년 10월 17일 접수; 2011년 11월 15일 게재 확정.

서 나타내면 세 가지로 정리되며 이를 <Figure 2>에 나타내었다. 제설 우선순위가 높은 도로에서 기존 제설장비의 접근이 어려울 때 쌓여있는 눈(적설)을 현장에서 처리할 수 있는 기능이 본 개발장비의 고유한 특징이다. 이를 위해서는 눈을 녹이는 용해로를 차량에 탑재하여 이동할 수 있어야 한다. 현장에서의 처리방법은 적설을 용해로에 이동시켜서 이를 녹인 후에 배수로에 버린다.

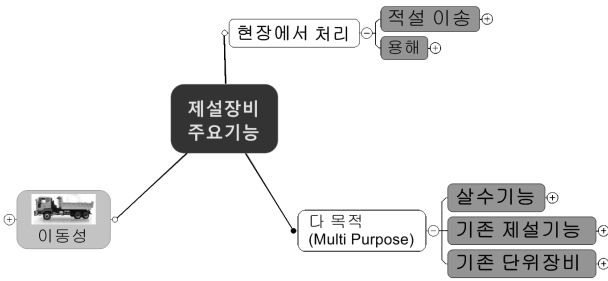


Figure 2. Object functions of snow removal system (Lee, Park, Choi, Bang, and Kim, 2011)

개발하려는 장비에 필요한 다 목적 기능은 살수기능과 기존 제설작업에 사용되는 기능과 도로관리를 위해 필요한 기능이 (기존 단위장비) 있다(<Figure 2> 참조). 현장에서 적설제거를 위해 필요한 용해작업과 적설이송 작업의 기능을 Kirschman and Fadel의 방법(Kirschman and Fadel, 1998)에 따라 분해하여 <Figure 3>(a)와 <Figure 3>(b)에 각각 나타내었다. 용해작업의 동력은 버너를 통해 화학에너지로 열로 변환시켜 얻게 되고 (<Figure 3>(a) 참조) 용해된 물질(Matter, 용해수)은 따로 모아 두었다가(Store) 배출하는(Expel) 기능을 갖게 된다. 그리고 이러한 기능을 수행하는 장치는 고정시키는 것(Permanent, 용해로)과 탈 부착이 가능한 것(Removable, 용해장치)이 있다.

적설이송(Snow transfer) 장치는 유압모터에서 동력을 공급 받게 되며(<Figure 3>(b) 참조) 눈을 이송하기 위해서는 블로워의 회전운동을 발생시키고(Create rotary motion), 눈(Matter)을 용해로(Melter)까지 이송시키게 된다. 이러한 기능을 하는 블로워는 탈 부착이 가능하며 눈과 함께 들어오는 쓰레기들을 막아주는(protect) 장치가 되어 있어야 한다.

지금까지 열거한 용해장치와 적설이송장치에 필요한 기능

은 설계자가 개발하려고 의도한 다 목적 제설장비에 필요하다고 생각된 기능을 기존의 기능분해 방법론을 활용하여 만들어 낸 것이다. 이러한 기능 모델링은 새로운 장비의 개념설계를 수행할 때 가장 먼저 이루어지는 작업으로서 향후 구성 될 부품을 선택하는 밑바탕이 되는 작업인데, 한 가지 기능모델링에서도 서로 다른 여러 개의 많은 장비 구성이 가능하다.

개발하려는 제설장비 시스템에 요구되는 최종적인 설계목표는 시간당 30톤의 눈을 ‘이동하면서’ 용해하는 것이다. 용해장비를 이송하는 트럭의 도로운행을 위한 조건은 다음과 같다.

- 교량통과를 위해서는 총 중량이 24.3톤 이하가 되어야 함. (도로구조시설 기준에 관한 규칙)
- 램프에 진입하기 위해서는 차량의 커브길 주행 시 곡선반경이 8.9m 이내가 되어야 함.

상기 두 구속조건은 제설장비 시스템의 중량과 크기와 관련된 것이다. 따라서 차량의 탑재 물 가운데 가장 많은 공간을 차지하는 용해용 장비를 선택하는 것에 대한 구속조건이 된다. 두 번째 구속조건인 램프진입을 위한 최대 곡선반경 8.9m는 16톤 트럭에 해당된다. 만약 16톤이 넘는 트럭이 제설장비로 사용된다면 램프에 진입은 가능하지 않다.

3. 장비구성

기능 모델링에 근거하여 설계의도를 만족시키는 장비를 선정 및 개발하는 행위를 구성설계(configuration design)라고 정의할 수 있으며 개념설계의 한 과정이 된다(Snavely, Gary and Papalambros, 1993; Panos, 1993; Bei Yu, 1996). 이 과정에서 기존의 장비를 설계목적에 맞게 변형하여 활용하거나 새로운 장비를 개발하게 되는데 부품의 구체적인 형상을 결정짓게 되는 이 설계단계에 대해서는 많은 연구가 있어왔다(Stone, and Wood, 2000; Collins, Hagan, and Bratt, 1976). 한편 기능을 만족시키는 혁신적인 제품개발을 위해 새로운 물리이론과 기술을 도입하는 방법론에 대한 연구도 근래에 활발히 진행되고 있다(Altshuller, 1984).

본 논문에서는 전 장에서 도출한 기능 모델링에 근거하여 (<Figure 2>, <Figure 3> 참조) 기존에 존재하는 장비의 구조를

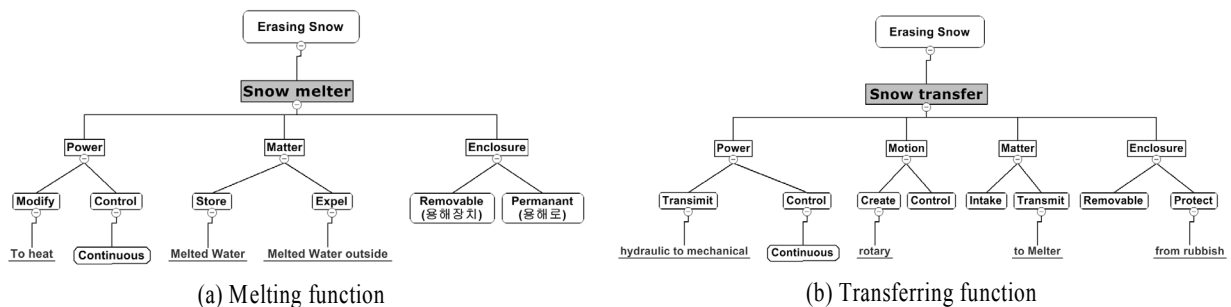


Figure 3. Function hierarchy of snow melting system

수정하고 이것을 구성설계에 활용하였다. 이동이 가능한 제설 장비가 되기 위하여 트럭을 사용하였는데 탑재 될 용해장비의 중량과 크기 및 도로에서의 작업 성(회전반경, 등판능력) 등을 고려하여 용량을 16톤으로 설정하였다.

용해장비의 중량은 어떠한 방식의 용해로를 사용할 것인가에 좌우된다. 본 논문에서는 제 2장에서 제시한 중량의 구속조건에 근거하여 열효율이 높고 상대적으로 중량이 작은 열풍분사식 용해로를 채택하였다. 이 경우 용해장치와 연료장치를 포함한 중량은 15.6톤으로서 16톤 트럭의 적재중량에 근접한다. 16톤 차량의 경우 회전시의 반경이 8.9m를 만족하므로 램프진입이 가능하다.

본 논문에서 구성한 용해장비의 구성을 도식적으로 표현하면 <Figure 4>와 같다. 용해를 위하여 버너를 활용하는 것으로 설정하였고 열 교환 장치는 용해를 위해 일반적으로 필요한 부품이므로 당연히 추가되었다. 용해수의 저장과 배수를 위한 저장탱크가 필요하게 되는데 이 장비는 살수를 위한 물탱크의 역할을 겸하게 된다(<Figure 4> 참조). 용해로 역시 살수 장치의 물탱크로 활용되도록 설정 되었는데 이 장비가 가동 될 때에는 눈을 용해하는 상황은 발생하지 않기 때문이 이러한 부품의 공유가 가능하다. 이것을 통해 얻는 이점은 차량의 공간을 절약하고 하중에 대한 부담을 덜게 된다. 선정된 용해장비가 탑재된 트럭의 개념도를 <Figure 5>에 도시하였다. 차량에 탑재된 장비들은 <Figure 4>에 수록한 기존 장비들의 일반적 형태를 표현한 것으로서 개념설계 단계에서 탑재된 부품들의 구체적인 치수까지 결정된 것은 아니다.

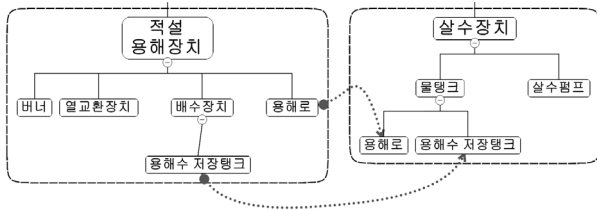


Figure 4. Components for melting system and spray water

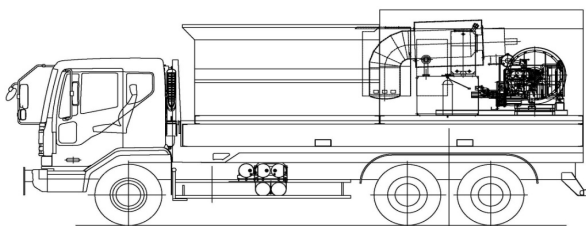


Figure 5. Truck(16 ton) with melting equipment(Lee, Park, Choi, Bang, and Kim, 2011)

눈을 이송하기 위해 현재까지 주로 활용되는 방법은 블로워와 컨베이어를 활용하는 방법이다. <Figure 6과 <Figure 7>에 컨베이어 와 블로워를 사용하여 적설을 이송하는 장비를 각각 나타내었다. 본 논문에서는 <Figure 3>(b)에 나타낸 것과 같이

블로워 타입의 장비를 적설이송에 활용되는 것으로 구성설계를 수행하였다. 왜냐하면 컨베이어를 사용할 경우 안정적인 눈의 이송이 가능하나 컨베이어 자체의 중량이 크고 많은 공간을 차지하는 단점이 있다. 이에 비해 중량이 가벼운 블로워는 단시간에 많은 양의 적설이송이 가능하며 필요한 경우 먼 거리로 눈을 비산시켜서 도로관리를 신속히 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 쌓여있는 눈을 차량에 탑재된 용해로까지 이송하는 과정에서 블로워 내부 및 이송관로가 눈에 의해 막히는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 이를 해결하기 위한 추가적인 장치가 필요하다.

적설을 이송하는 장비구성을 설정하여 이것을 <Figure 8>에 나타내었다. 블로워가 눈을 이송하기 전에 블로워의 회전날개 부분에 눈을 모아서 공급하는 수거하는 장치가 있어야 하고 이를 그림에 나타내었다. 기존의 블로워에는 적설 수거장치가 없지만 본 논문에서는 이것을 장비구성 단계에서 추가하여 새로운 부품개발을 시도하였다. 따라서 <Figure 8>의 장비구성에 의해 블로워의 개념설계를 수행하게 되면 적설 수거장치가 추가된다.



Figure 6. Snow transfer by conveyor(http://seoulmh.tistory.com/2794)



Figure 7. Snow transfer by blower(www.schmidt.com)

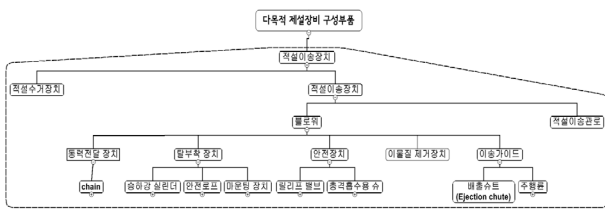


Figure 8. Component structure of snow transfer system

4. 용해 성능검증

구성된 장비의 성능검증은 그 결과가 장비구성에 영향을 미치고 다시 이에 대한 성능검증이 이루어지는 반복적인 설계과정이 된다. <Figure 1>에서는 설계순서를 주된 흐름을 표시하기 위해 일회성 작업으로 나타내었으나 일반적으로 그림에 나타난 모든 설계과정에서 다른 과정으로의 이동 및 반복적 수행이 이루어진다.

본 논문에서는 구성설계 과정에 초점이 맞추어져 있으므로 구성부품(예를 들어 용해로의 용해성능에 대한 열역학적 분석이나 블로워의 이송능력에 대한 동역학해석 등과 같은)의 상세한 성능검증은 생략하고 차량에 탑재된 용해 시스템을 활용할 경우 실제 제설작업에서 가능한 제설거리 및 이에 수반되는 비용 등을 검토하여 보고자 한다.

4.1 제설작업시간

용해에 의한 제설작업시간 분석은 제설 시나리오 작성의 기반이 된다. 작업시간은 블로워에 의한 눈의 이송, 용해, 용해수 배출과 같은 작업들로 이루어진다. 30톤의 눈을 녹이는 전체 작업시간은 각 작업 별 시간을 합산하여 추정할 수 있는데 이때 중복되는 시간은 제외한다. 제설과정에서 용해수를 배출하는 작업은 저장탱크에 모았다가 배수구에 배출하는 방법과 용해작업 도중에 도로에 배출하는 두 가지 경우가 있는데 이것을 그림으로 <Figure 9>와 같다. 용해수를 배수구에 배출하는 경우에 2개의 호스를 사용해(1개는 펌프로 구동, 나머지 하나는 자중에 의한 낙하) 시간당 1000리터의 물이 배출되는 것으로 가정하였다.

<Figure 9>(a)에서 용해수 배출시간이 전체시간의 31%가 되어 용해시간에 이어 두 번째로 많은 비율을 갖게 되는데 이것은 작업시간을 단축하기 위해서는 배출시간을 줄이는 것이 관건임을 보여준다. 용해수의 배수구 배출 유무에 따라 작업시간은 서로 큰 차이를 보이게 된다. <Figure 9>(a)와 <Figure 9>(b)에 나타난 두 경우 모두 30톤 눈을 녹이는 용해로의 용량은 30톤이지만, 용해수를 배수구에 배출하는 경우 여기에 소요되는 시간만큼 용해작업이 중단되므로 결과적으로 도로에 배출하는 경우보다 약 1.6배의 작업시간이 소요된다. 용해수를 이동하며 배출하는 경우에는(<Figure 9>(b) 참조) 정차하여 따로

배출하는 시간이 필요 없고 작업인력이 소모하는 시간이 필요하지 않게 된다. 결과적으로 전체작업 시간 중 눈의 용해 시간이 99%를 차지하게 되어 모든 작업시간을 고려했을 때 시간당 29.77톤의 눈을 녹이는 작업이 가능하다.

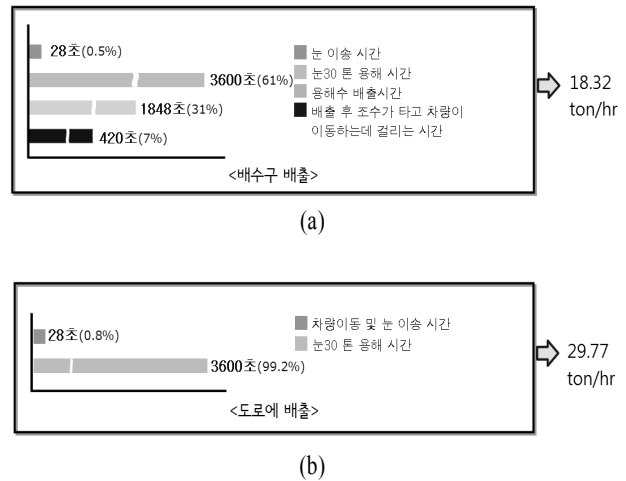


Figure 9. Time required for snow melting and discharging(Lee, Park, Choi, Bang, and Kim, 2011)

4.2 작업거리 및 기름소모량

작업시간을 기준으로 용해작업에 의해 제설이 이루어지는 거리는 식 (1)과 같이 표현된다(눈이 쌓인 높이와 폭을 각각 h 와 b. 눈의 비중 γ , 시간 당 처리하는 눈의 중량 M_s).

$$D_s = M_s / (h \cdot b \cdot \gamma) \tag{1}$$

식 (1)에서 M_s 값이 용해수를 배수구에 버리는 것을 고려한 18.32ton/hr(<Figure 9>참조)라고 할 때, 눈의 높이 h 값에 따른 작업거리를 나타내면 <Table 1>과 같다(Lee, Park, Choi, Bang, and Kim, 2011). 적설의 깊이에 따라 작업거리가 비례하는데 깊이가 30cm 일 때 시간당 407m 만큼 제설작업이 이루어진다.

Table 1. Working distance for snow melter in an hour (discharging melted water to a drainage way)

Snow height(cm)	Working distance(m)
30	407
50	244
100	129

용해수를 도로에 배출하는 경우에는 배출 시간만큼 작업시간이 단축되므로 배수구에 배출 하는 경우에 비해서 1.6배 많은 작업이 가능하다. 용해작업이 경유 보일러를 사용한다고 가정할 경우에 필요한 경유소모량 및 가격을 <Table 2>에 수록

하였다(Lee, Park, Choi, Bang, and Kim, 2011). 용해수를 도로에 배출하면 30톤의 눈을 용해할 때 371리터가 소모되고 이를 가격으로 환산하면 약 65만원이 된다(리터당 1761원 가정). 30톤의 눈을 8회 녹인다고 하면(하루 작업량으로 가정한다) 약 520만원의 유류비가 적설용해를 위해 필요하다(적설의 폭, 깊이가 각각 50cm, 용해수 도로배출 가정).

Table 2. Oil consumption for snow melting

Snow melting(30ton)	Diesel
Consumption rate	371 liter
cost	653,700 won
1 day cost(240ton)	5,230,000 won

5. 장비 레이아웃 설계

다 목적 제설 시스템의 구성장비는 크게 용해를 위한 장비와 기존의 제설장비 그리고 도로관리용 단위장비로 나누어 지며 모두 트럭 위에 탑재된다. 가장 많은 부피와 중량을 차지하는 것은 용해장비인데 차량 적재공간의 대부분을 차지하므로 다 목적 장비를(<Figure 2> 참조) 사용하기 위해서는 용해 참조장비의 탈 부착이 가능해야 한다. <Figure 10>에 나타난 것과 같이 용해장비가 탈거된 공간에 살수장비와 제설재 살포기와 같이 많은 공간을 차지하는 장비가 탑재된다. 용해수 저장탱크는 살수장비에 물을 공급하는 기능도 있으므로(<Figure 4> 참조) 차량의 바닥에 위치되고 탈 부착이 되지 않게 한다.

블로워 및 용해장비를 16톤 트럭에 탑재한 제설 시스템을 <Figure 11>에 나타내었다. 그림에서 블로워는 차량의 앞면에 장착되고 연결된 이송관로를 통해 눈을 용해로에 투입하며 블로워에 필요한 동력을 공급하기 위해(<Figure 3> 참조) 보조엔진 이 운전적 뒤에 별도로 탑재된다. <Figure 11>에 나타난 장비들은 기능분해 결과에 따라 <Figure 4>와 <Figure 8>에 나타난 부품들을 구성한 결과이다.

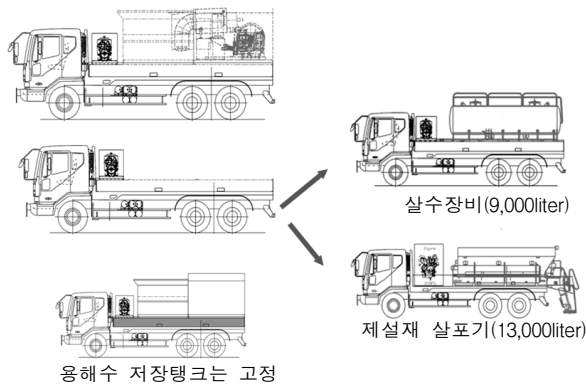


Figure 10. Removable melting system(Lee, Park, Choi, Bang, and Kim, 2011)

다 목적 기능을 달성하기 위해 기존 도로관리에 활용되는 장비들을 16톤 트럭에 장착되는데 이것들은 <Figure 2>의 장비 주요기능에서 기존 제설기능과 기존 단위장비에 해당한다. <Figure 12>에 전술한 장비들을 나타내었다. 그림에 나타난 장비들은 수요자조사를 통해 선정되었으며 도로관리에서 가장 많이 활용되는 것들이다. 기존의 장비들은 구조적 변형 없이 그대로 활용 될 수 있도록 하며 상세설계 단계에서 기존 장비들을 위한 장착기구를 개발하여 이를 트럭에 부착하도록 한다.

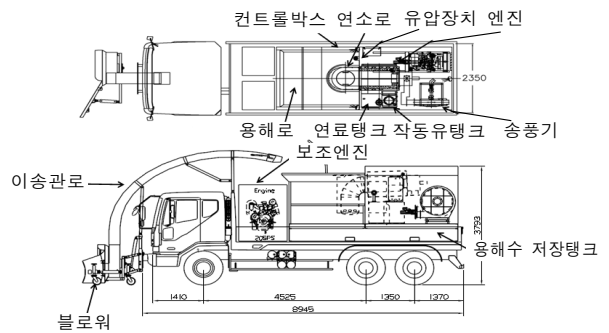


Figure 11. Configuration of snow melting system(Lee, Park, Choi, Bang, and Kim, 2011)

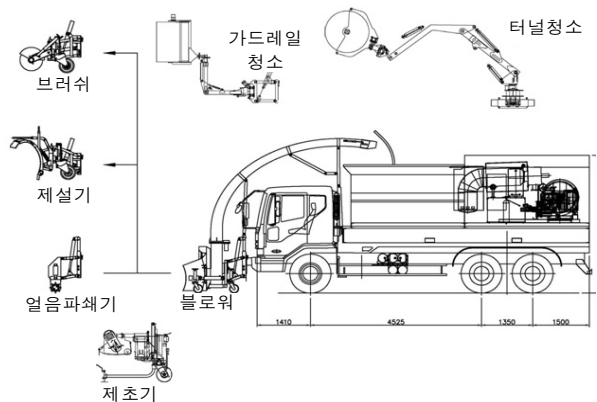


Figure 12. Equipments of multi purpose function

6. 결론

다 목적 제설 시스템의 개념설계를 실행하는 과정에서 해당 제품에 대한 기능분해, 부품구성, 성능분석, 레이아웃 설계가 이루어졌다. 설계자가 원하는 다양한 기능을 만족시키기 위해서는 체계적 기능모델링이 필요하고 이에 기반 한 장비구성이 뒤따라야 한다. 이 과정에서 설계자는 기존장비의 장단점을 비교, 분석하여 최적의 선택을 하게 되며 동시에 차량의 배치 공간 및 중량과 같은 구속조건을 고려하게 된다.

다 목적 제설장비의 설계목표를 기능모델링에 근거하여 표

현하였고 이 과정에서 설계자는 기존의 이론에 근거하여 기능을 구성하고 이를 이용해 부품선택이 이루어졌다. 그리고 동일한 기능에 대해 대안이 되는 부품들 사이의 비교평가 및 선택이 수행되었다. 또한 선택된 부품들을 효과적으로 배치하는 작업을 수행하였다. 본 논문에서는 개념설계 단계에서 적용 가능한 단계별 설계방법론을 제시하고 이를 다 목적 제설 시스템 설계에 적용하였고 제시된 설계방법론의 효율성을 고찰해 보고자 하였다.

참고문헌

- Altshuller, G. (1984), *Creativity as an exact science*, Gordon and Branch Publishers.
- Bei, Y. (1996), *A virtual Configuration Workbench for Product Development*, Ph. D. Thesis, Department of Design, Manufacture and Engineering Management, University of Strathclyde, UK.
- Collins, J. A., Hagan, B. T., and Bratt, H. M. (1976), The failure-experience matrix-A useful design tool, *Transactions of the ASME, Journal of Engineering in Industry*, **98**, 1074-1079.
- Kirschman, C. and Fadel, G. (1998), Classifying functions for mechanical design, *Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design*, **120**, 475-482.
- Lee, J., Park, H., Choi, G., Bang, B., and Kim, H. (2011), *Development of Multi purpose snow removal system*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
- Snaveley, G. L. and Papalambros, P. Y. (1993), Abstraction as a configuration design methodology, *Transactions of the ASME, Advances in Design Automation*, **1**, 297-305.
- Stone, R. and Wood, K. (2000), Development of a functional basis for design, *Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design*, **122**, 359-369.