

고층빌딩 자동유리 청소장치 개발

1996. 12



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

요 약 문

1. 과제명: 고층빌딩 자동 유리 청소장치 개발

2. 연구기간: 1996년 1월 1일 ~ 1996년 12월 31일

3. 연구자: 기전안전연구실 이충렬

4. 연구목적

고층빌딩의 외벽을 청소할때 작업자가 안전한 위치에서 원격조정에 의해 작업을 할 수 있는 자동 유리청소장치를 개발하여 고층빌딩 외벽청소시 발생하는 재해를 예방하는데 기여하고자 한다.

5. 필요성

청고층빌딩의 외벽 청소작업은 대부분 작업자가 외줄을 타고 유리창이나 외벽을 일일이 손으로 닦으며 내려오면서 하는 작업이다. 이같은 작업은 평소에도 매우 위험하며 특히 비가 내릴 때는 로프가 미끄럽게 되어 작업자가 아래로 추락하는 사고가 자주 발생하고 있다. 이러한 사고의 결과는 매우 치명적이어서 대부분이 사망하거나 불구가 되는 등 재해 강도가 매우 높다.

고층빌딩의 유리청소시 발생하는 재해를 근원적으로 예방하기 위해서는 작업자가 위험한 위치에서 작업을 하지 않아도 되도록 자동 또는 원격조정에 의한 유리창 청소가 가능한 장치를 개발하는 것이 필요하다.

6. 연구내용

다음과 같은 부분을 포함하는 고층빌딩의 외벽 청소장치를 고안하여 설계하였다.

- 세척 Drum
- 세척 Drum 구동장치 및 주변 장치
- 누름장치용 Fan
- 청소장치의 Frame
- 세척수 분사장치
- Bearing 커버 및 세척 Drum 커버

7. 연구결과

이번 연구에서 설계한 고층빌딩의 자동 외벽청소장치의 세부 내용은 다음과 같다.

- 세척 Drum: 샤프트 및 Drum 파이프 설계도 완성, 세척 털이개의 선정
- 세척 Drum 구동장치 및 주변 장치: 세척 Drum용 모터용량 추정, 세척 Drum용 모터 및 제어장치 규격 확정
- 누름장치용 Fan 및 구동장치: 누름장치용 Fan의 추력 추정, 누름장치용 Fan 및 구동장치 규격 선정
- 청소장치 Frame: 장치 전체의 형상 유지 및 부품 부착 구조 완성
- 세척수 분사장치: 세척수 분사반력 추정, 노즐사양 확정, 분사구조 설계 및 장착구조
- Bearing 커버 및 세척 Drum 커버: Bearing 고정용 Bearing 커버 제작도, 모터 쇼트 및 각 부품 부식 방지용 방수 구조

8. 활용계획

설계도에 따라 전문 업체와 공동으로 시제품을 제작하여 성능을 확인한 후 실용화하여 활용할 계획이다.

여 백

목 차

1. 서 론	1
1.1 연구의 목적 및 배경	1
1.2 고층빌딩 청소현장의 작업실태	2
1.3 연구의 개요	3
2. 고층빌딩 자동유리 청소장치 각부의 기능과 기본 조건	4
2.1 원 리	4
2.2 각부의 기능	5
3. 고층빌딩 자동유리 청소장치의 구성 및 설계 조건	8
3.1 자동 청소장치의 구성	8
3.2 세척장치의 설계 조건	9
4. 시제품의 설계	12
5. 맺음말	36
참고문헌.....	38

1. 서 론

1.1 연구 배경

고층빌딩의 유리 및 외벽 청소작업은 빗물 등에 의한 미끄러짐이나 바람에 의한 흔들림으로 추락위험이 커서 재해가 많이 발생되고 있다. 이런 이유로 근로자들은 고층빌딩 청소작업을 기피하게 되어 숙련된 작업자가 부족한 실정이며 숙련되지 않은 작업자들이 작업을 하는 경우가 많아 그 위험성을 더해주고 있다.

현재는 청소용역업체에서 고층빌딩의 유리창 및 외벽 청소를 하고 있는데 이 작업은 작업자가 외줄을 타고 유리창이나 외벽을 일일이 손으로 닦으며 내려오면서 하는 작업이다. 이러한 작업은 평소에도 매우 위험하며 특히 비가 내릴 때는 로프가 미끄럽게 되어 작업자가 아래로 추락하는 사고가 자주 발생하고 있다. 이러한 사고의 결과는 매우 치명적이어서 대부분이 사망하거나 불구가 되는 등 재해 강도가 매우 높다.

그러나 이 작업은 항상 고층빌딩의 외벽에서 작업을 하여야 하는데 아직까지는 이러한 위험한 작업방법이 개선되어지지 않고 있다. 따라서 이러한 재해를 근원적으로 예방하기 위해서는 작업자가 위험한 위치에서 작업을 하지 않아도 되도록 자동 또는 원격조정에 의한 유리청소가 가능한 장치가 필요하여 본 연구를 추진하게 되었다.

1.2 고층빌딩 청소현장의 작업실태

현재 고층빌딩의 유리창 청소작업은 작업자가 줄을 타고 내려오면서 간단한 도구를 가지고 이루어지며, 작업자가 건물 외벽에서 떨어진 채 작업할 수 있는 어떤 장치나 시설물을 이용하고 있지 않다.

빌딩 상부의 적당한 시설물에 줄을 묶은 상태에서 이 줄을 빌딩 아래로 늘어뜨리고 작업대를 이 줄에 2~3회 감은 다음 작업대에 올라 앉아 감은 줄과 작업대 사이의 마찰력을 이용하여 원하는 위치에서 정지하거나 아래로 이동하면서 작업한다. 이러한 방법으로 반복하여 유리창 청소를 하는 것은 여러 면에서 매우 위험하다.

그 이유는 줄이 빌딩 상부의 시설물에 불안전하게 묶인 경우에는 풀어질 염려가 있고 작업자가 외줄을 타고 내려올 때 물과 세제가 묻게 되면 감긴 줄의 마찰율이 감소되어 작업자가 아래로 추락하는 경우도 종종 있기 때문이다.

또한 바람이 많이 부는 날에는 대개 작업을 하지 않지만 작업도중에 바람이 부는 경우나 실제 바람이 많이 불지는 않더라도 빌딩 사이에서 발생하는 골바람이 생기는 경우 그 영향으로 작업자는 좌우로 진동을 하게 되므로 안정을 잃고 빌딩 외벽에 부딪치거나 떨어질 가능성이 많다.

통상적으로 오전에 빌딩청소를 시작하여 오후까지 작업을 하게 되는데 도중에 비가 오거나 바람이 불게 되면 위험한 상태인데도 불구하고 작업을 강행하다가 사고를 당하는 경우가 많았다.

이러한 작업의 문제점은 아직도 줄과 간단한 도구만을 가지고 작업자가 직접 수동으로 고층빌딩의 위험한 유리창 청소 작업을 하는데 있다.

건물에 따라서는 외줄을 건물 상부에 묶을 수 없는 경우도 있으며 이런 경우에는 건물 옥상에 물을 채워넣은 물통을 설치하고 여기에 물을 담아놓고

줄을 묶어서 줄을 타고 내려오는 방법을 사용한다. 이 줄의 조임새가 허슬한 상태이거나 물통의 물이 새어나오게 되면 작업자는 빌딩 아래로 떨어지게 될 수도 있어 이 또한 매우 위험하다.

1.3 연구의 개요

고층빌딩 자동 유리청소장치는 크게 유리면을 닦아주기 위한 세척장치와 이 세척장치의 위치를 고정 및 이동시키기 위한 고정장치로 구성되며 본 연구에서는 이 가운데 세척장치를 설계하였다. 고정장치로는 기존 건물에 설치된 곤도라 등을 이용할 수 있을 것이다.

세척 장치는 고층빌딩의 유리 및 외벽을 타고 내려오면서 물을 분사하고 털이개가 부착된 Drum을 회전시켜 빌딩의 외부표면을 세척하는 장치이다. 세척 Drum의 상부에서 세척수가 분사되게 함으로써 세척 Drum의 회전에 의해 닦아진 부분을 행구게 하여 남아 있는 불순물을 제거하게 하는 원리이다. 이 세척 장치는 세척기능이 원활하게 이루어질 수 있도록 세척부위 누름 장치, 누름 제어장치, 모터제어장치, 세척수공급장치 등으로 이루어져 있다.

이번 연구에서는 현재까지는 유리 청소자가 직접 외줄을 타고 내려오면서 위험하게 유리청소를 해야만 했던 것을 유선 및 무선으로 세척 장치를 원격조정하여 안전한 작업이 될 수 있도록 하였다.

2. 고층빌딩 자동 청소장치의 부분별 기능 및 기본 조건

2.1 원리

고층빌딩 자동 청소장치는 실제로 건물 외벽을 청소하는 세척장치과 이 장치를 원하는 청소위치로 이동시켜주는 이동 장치로 구성된다.

세척장치가 기존의 곤도라 방식으로 두줄을 타고 내려오면서 빌딩 유리의 표면을 고압 펌프로 압축된 물을 노즐로 분사하여 청소할 부위를 적셔 준다. 그리고 세척 떨어개가 달린 세척 Drum을 청소부위에 밀착시켜 회전하게 되면 유리의 표면을 세척 Drum이 때리면서 문지름으로써 청소가 가능하다.

세척장치의 뒷부분에는 Fan과 Fan 구동장치를 설치하여 Fan을 회전시킴으로써 세척 Drum을 건물 벽에 적당한 압력으로 밀착시킨다.

세척 Drum 구동모터와 Fan 구동모터를 유무선으로 원격 조정할 수 있게 하여 작업자가 직접 줄을 타고 내려오면서 작업하는 종래의 방법에 의한 위험을 없앨 수 있다.

그림 1은 세척장치의 개요를 나타내고 있다.

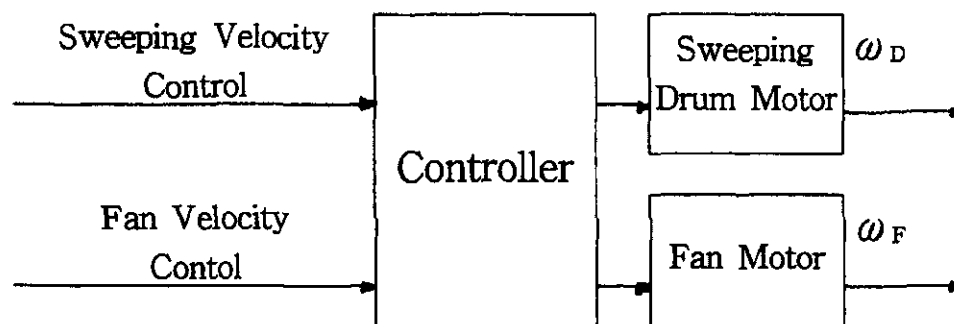


그림 1. 세척장치의 개요

2.2 각 부의 기능

가. 세척장치

세척 장치는 고층빌딩의 유리 및 외벽을 타고 내려오면서 물과 세척 세제를 분사하고 떨이개가 부착된 Drum을 회전시켜 빌딩의 외부 표면을 세척하는 장치이다. 이 세척장치는 세척부위 누름 장치, 누름 제어장치, Motor 제어장치, 세제 공급장치 등으로 이루어져 있다.

- 물 분사장치: 노즐과 고압호스, 고압펌프로 이루어져 있고 펌프에서 물을 고압으로 공급하면 노즐에서 세척에 적절한 형태로 물을 분사시켜준다.
- 세척제어장치: 세척 Drum이 회전수를 변화하여 세척 진행 속도 조절 및 세척부분 고착물의 고착 정도에 따른 세척 강도를 조절한다.
- 세제 공급장치: 고층빌딩 유리 및 외벽의 세척부 주위에 세제가 분사되면서 분사되는 물과 혼합되어 세척 Drum에 의하여 청결하게 세척될 수 있도록 한다.
- 세척 Drum: 세척 Drum과 세척세제 및 물 분사장치 등으로 이루어져 있다. 물과 세제가 분사되어 유리 및 외벽의 표면을 적시면 이를 쓸 등이 부착된 세척 Drum이 회전하여 유리 및 외부를 세척하게 된다.
- 세척부 누름장치: Motor와 Fan으로 이루어지며 Motor에 의해 Fan이 회전하여 누름을 발생시킨다. 이 누르는 힘의 세기로 유리 및 외벽의 세척이 원활하게 될 수 있도록 세척 장치가 유리 및 외벽에 밀착 되게 하는 기능을 한다.
- 누름 제어장치: 누름의 강약을 조정하는 장치로서 누르는 힘의 세기는 Fan의 회전수에 따라 변하므로 Motor의 회전수로 이를 조정한다.

나. 고정 및 이동장치

이동장치는 세척장치가 안정하게 세척할 수 있게 하고 이를 상하 좌우 이동시켜 빌딩의 외부를 계속해서 세척할 수 있게 하는 장치이다. 이 고정 및 이동장치는 고압펌프, 고압호스, 고압호스 Wheel, Frame, Wire, Wire Wheel, Wire 구동장치, 고압호스 Wheel 구동장치, 전기배선 Wheel 및 구동장치, 고정부 좌우 구동장치, 권과방지장치 및 브레이크 등으로 이루어져 있다.

- 세척장치 Frame: 이동 및 고정장치의 형체 및 강도를 유지한다.
- Wire Wheel 구동장치: Motor로 Wheel을 회전하게 하여 세척장치가 고정 및 상하 이동하게 함으로서 안정한 상태에서 유리를 세척할 수 있게 한다.
- Wire Wheel: Motor의 구동으로 Wire Wheel을 구동시킴으로서 세척 장치의 상하 이동을 가능하게 한다.
- Wire Wheel 구동제어 장치: 세척장치의 상하 운동을 On-Off하고 세척 진행 속도를 조정하는 기능을 한다.
- 세척수 공급장치: 세척장치에 물을 공급하여 세척할 수 있게 한다.
- 전기 배선 Wheel 및 구동장치: 세척장치의 작업위치에 관계없이 세척장치에 설치된 Drum 구동장치 및 누름구동장치 등에 전원을 공급한다.
- 횡행장치: 고정 및 이동부가 좌우로 움직여 세척기가 측면으로 이동하여 순차적으로 세척할 수 있게 한다.
- 충격 흡수장치: 세척 도중 날씨의 변화로 바람에 의해 세척장치가 흔들릴 경우 빌딩의 유리를 손상시킬 수 있으므로 이를 방지하는 기능을 한다.

- 방수 및 물 차단막: 세척 Wheel의 회전으로 세척기의 측면에 물이 튀어 세척된 부분을 더럽힐 수 있으므로 이를 방지할 수 있도록 하는 방수 및 차단막이다.

3. 고층빌딩 자동 청소장치의 구성 및 설계 조건

3.1 자동 청소장치의 구성

고층빌딩 자동청소장치의 구성은 그림 2과 같이 세척 장치과 고정 장치로 이루어져 있다. 세척 장치는 세척 Drum과 세척 Drum 작동장치, 세척수 분사 장치, 누름 장치의 Fan 및 Fan 구동장치 등으로 이루어져 있다.

이 청소장치는 빌딩 상부에서 좌우로 이동할 수 있는 장치와 Wire Drum을 구동시켜 세척 장치를 상하로 이동시키는 장치로 되어 있다. 또한 여기에 물을 세척장치에 도달하고 하고 적당히 분사할 수 있는 펌프도 장착하도록 설계하였다.

세척수 분사장치는 고압으로 공급되는 물을 부채꼴 모양으로 분사 노즐을 통하게 하여 분사되게 한 것이다.

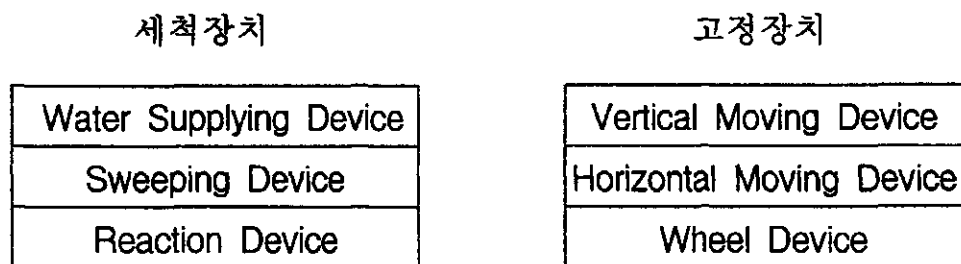


그림 2. 청소장치의 주요 구성부

세척 Drum은 구동 Motor에 의해 Drum이 회전되게 하였으며 Drum의 외부에 폴리에틸렌 재질의 가느다란 실이 붙어 있는 원주형 털이개를 부착하고 Drum의 회전에 의해 원심력이 발생하여 털이개가 유리의 표면을 때리게

한다. 노즐에 의해 분사된 물로 적셔진 유리 표면을 털이개에 의해 세척될 수 있게 한 것이다.

누름장치는 장치가 유리의 표면에 밀착되어 세척이 정상적으로 진행될 수 있도록 한 것으로 구동 Motor에 의해 Fan을 회전시키면 추력이 발생하게 되므로 이 추력에 의해 세척장치를 밀착하게 하는 장치이다.

또한 이 누름장치를 제어하는 누름 제어장치는 빌딩 외벽에 고착된 먼지 등의 고착 정도에 따라 세척부위에의 누름 정도를 조절하여 효과적으로 세척할 수 있게 하는 장치이다.

고정 장치는 이 세척장치를 상하좌우로 이동시켜 빌딩 외벽전체를 세척할 수 있도록 한다.

세척장치에 세척 Drum의 회전과 누름장치의 Fan을 구동시키는 각각의 Motor에 전원을 공급시킬려면 전선 릴이 필요하다. 이 릴을 이동시스템의 상부에 설치하도록 설계하였다.

그리고 펌프에 의해 압력을 상승시킨 물을 세척장치까지 공급하는 데에는 호스를 사용하였다. 이 호스는 세척장치가 상하로 이동되어도 빠지지 않게 한 호스링을 설치하도록 하였다.

3.2 세척장치의 설계 조건

세척장치를 설계하는데 있어 고려하여야 할 사항들은 다음과 같다.

- 세척부 누름 장치에 부착된 Fan의 주변은 방호 망을 설치하여 인체에 상해를 입히거나 Fan이 손상되지 않도록 한다.
- 누름제어장치는 Fan의 날개 각도, 크기 형태 및 속도에 따라 Fan을 설계하고 속도 조절이 가능하도록 제어장치를 설계 및 제작한다.

- 세제공급장치는 물의 양과 세척장치의 이동속도에 따라 세척제의 양이 필요한 만큼 공급될 수 있도록 한다.
- 세척장치의 중량은 운반 및 설치가 가능하도록 60 Kg 내외로 하고 이 장치의 크기는 화물용 승강기로 운반이 가능하도록 높이, 가로 및 세로는 1,500×950×1,500mm 이내로 한다.
- 물 분사장치의 노즐은 현재 시중에 나와 있는 제품의 사용을 원칙으로 한다.
- 세척장치의 내부에 설치되는 방수 막은 세척 Drum과 적당히 이격시켜 Drum이 원활하게 회전될 수 있도록 설계한다.
- 물 분사 노즐은 세척제의 노즐보다 상단에 설치하여 이미 세척된 부분을 마지막으로 씻어주는 역할과 물을 공급하는 역할을 동시에 하게 한다.
- 세척 Drum은 스폰지류나 여러개의 실을 꼬아 만든 다발 등의 털이개를 Drum의 표면에 부착할 수 있도록 설계하고 이 세척 Drum은 교환할 수 있게 한다.
- 세척장치의 아래와 윗단에 고무판을 설치하여 윗판은 세척된 부분의 물을 닦으면서 내려오게 하고 밑판은 물이 세척기 아래의 여러방향으로 튀지 않도록 한다.
- 누름 장치 Fan의 후면은 공기의 유입이 원활하게 설계한다.
- 풍속 등의 기후조건 변화에 의한 작업의 안전성 및 작업성 등을 고려하여 세척장치를 설계한다.
- 세척 Drum의 회전에 의한 기울어짐을 보상할 수 있도록 세척장치의 무게 중심을 적정하게 하여 설계한다.
- Motor나 기계부품속으로 물이 들어가지 않도록 방수 처리한다.
- Motor 등 여러 가지 부품은 세척기의 무게가 균형이 있도록 배치하여 설계한다.

- 세척 진행시 세척기와 벽 사이의 압력을 일정하게 조절할 수 있도록 반력 모터를 조정제어 할 수 있도록 한다.
충격 완충 장치는 튜브 및 기타 장치를 이 형상에 맞게 제작하여 유리나 세척장치의 충격력을 완화할 수 있도록 한다.

4. 시제품의 설계

4.1 설계 개요

세척장치의 전체 Frame은 녹이 슬지 않고 외관이 미려하게 보이도록 하기 위해 스테인레스 강관으로 된 브라켓을 이용하여 이를 용접하는 구조로 그림 3과 같이 설계하였다.

분사 노즐을 세척장치의 상부에 설치하여 세척된 부분을 다시 행구어 주도록 설계하였다. 세척 Drum 구동 Motor 및 Fan 구동 Motor는 세척장치 상부의 Braket에 설치하게 하여 세척 Drum이 회전하면서 세척수가 튀는 것에 의한 Motor의 단락을 방지할 수 있도록 하였다.

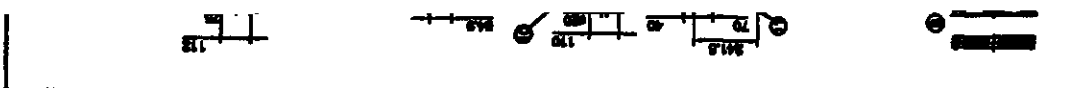
추력을 발생시켜 세척장치가 빌딩 유리면에 밀착하도록 하는 Fan은 세척장치의 중앙에 위치하도록 하여 세척장치가 평형 상태에서 빌딩유리에 밀착되게 하였다.

세척 Drum은 종방향과 횡방향으로 회전하는 각각의 Drum을 설치하도록 설계하여 빌딩유리의 평면 뿐만 아니라 측방향으로 턱이 진 부분도 세척이 될 수 있도록 하였다.

세척 Drum을 구동시키는 Motor와 동력전달 부분은 밀림이 없고 정확하게 동력이 전달될 수 있도록 Timing Belt를 사용하였다. 고속으로 회전하는 Fan과 구동 Motor, 동력을 연결하는 Belt는 V-Belt를 사용하여 속도의 증가시 Motor에 무리가 발생되지 않도록 약간의 미끄러짐은 허용될 수 있도록 하였다.

또한 세척장치 상부의 양측면에 후크로 된 Wire의 끝단을 걸 수 있도록 되어있는 고리를 설치하게 설계하였다.

세척장치 및 이동장치의 Wire에 매달리므로 세척장치의 무게는 고정 및 이동장치의 Wire 직경 치수 및 Drum 등의 규격을 정하는데 기준이 된다. 이



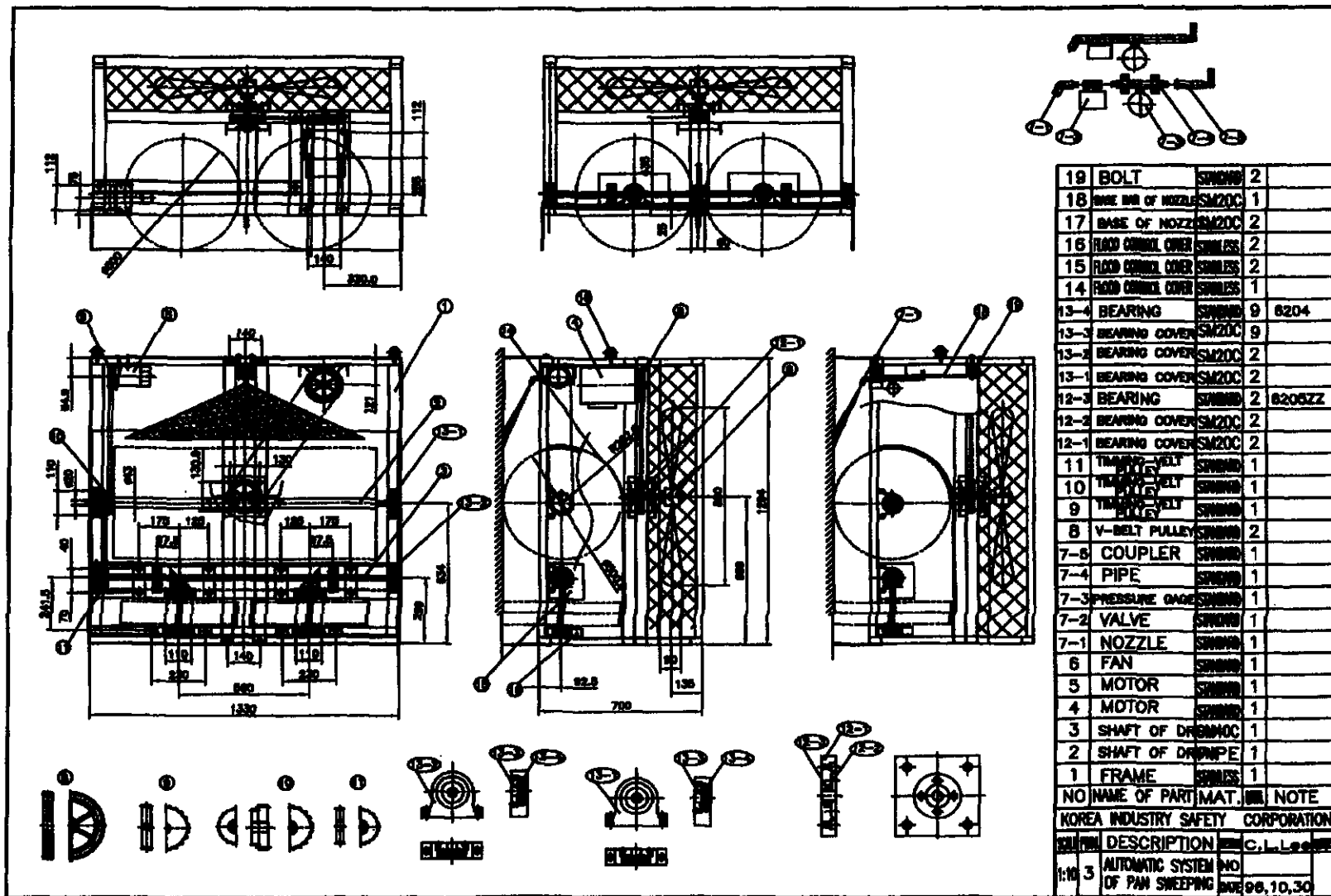


그림 3. 세척장치의 설계도

장치는 빌딩 외벽을 청소할때 계속해서 이동하여야 하므로 가능한 최소한의 무게와 부피를 갖도록 설계하는 것이 좋다.

그러나 빌딩 외부의 유리를 효율적이고 안정성 있게 청소하여야 하는 측면이 있는데 이는 적정한 넓이, 무게와 부피를 요한다. 따라서 양측면을 적절히 조화하여 무게와 크기 등을 정하여야 한다. 특히 고정 장치는 엘리베이터 및 계단을 통하여 빌딩의 옥상으로 운반하여야 하므로 이동이 가능하고 용이하도록 설계를 하였다.

따라서 큰 빌딩에 대부분 설치되어 있는 화물용 승강기를 이용하여 운반할 수 있도록 이 승강기의 내부 사이즈보다 작게 충분한 여유를 두고 설계하였다.

4.2 세척 Drum

세척장치의 무게를 증가시키지 않으며 강도를 유지할 수 있게 하기 위해 세척 Drum의 직경은 작게하고, 물을 사용하는 환경을 고려하여 스테인레스 강판 재질의 파이프를 이용하도록 그림 4와 같이 설계하였다. 양측면에는 환풍으로 두 개의 Shaft를 가공하여 Stainless 강에 용접하여 Drum을 제작할 수 있도록 설계하였다.

Drum의 직경은 Drum에 장착되는 털이개가 세척하는 데에 필요한 만큼 부착될 수 있는 최소한의 크기로 정하였다.

노즐을 통하여 분사되는 물의 폭은 빌딩유리 세척시 Drum과 유리가 맞닿은 부분의 길이와 일치하게 하였다.

Drum의 폭은 유리의 표면을 세척하여 주는 폭을 결정하는 요소이고 Drum의 길이가 길면 이에 비례하여 흔들림이 적게 되므로 안정되게 세척할 수 있다. 그러나 Drum 자체의 길이는 세척장치의 폭보다 작아야 한다. Drum과 외부 고정 Bracket 사이에는 Belt, Pulley, Key 등이 설치되어야 하므로

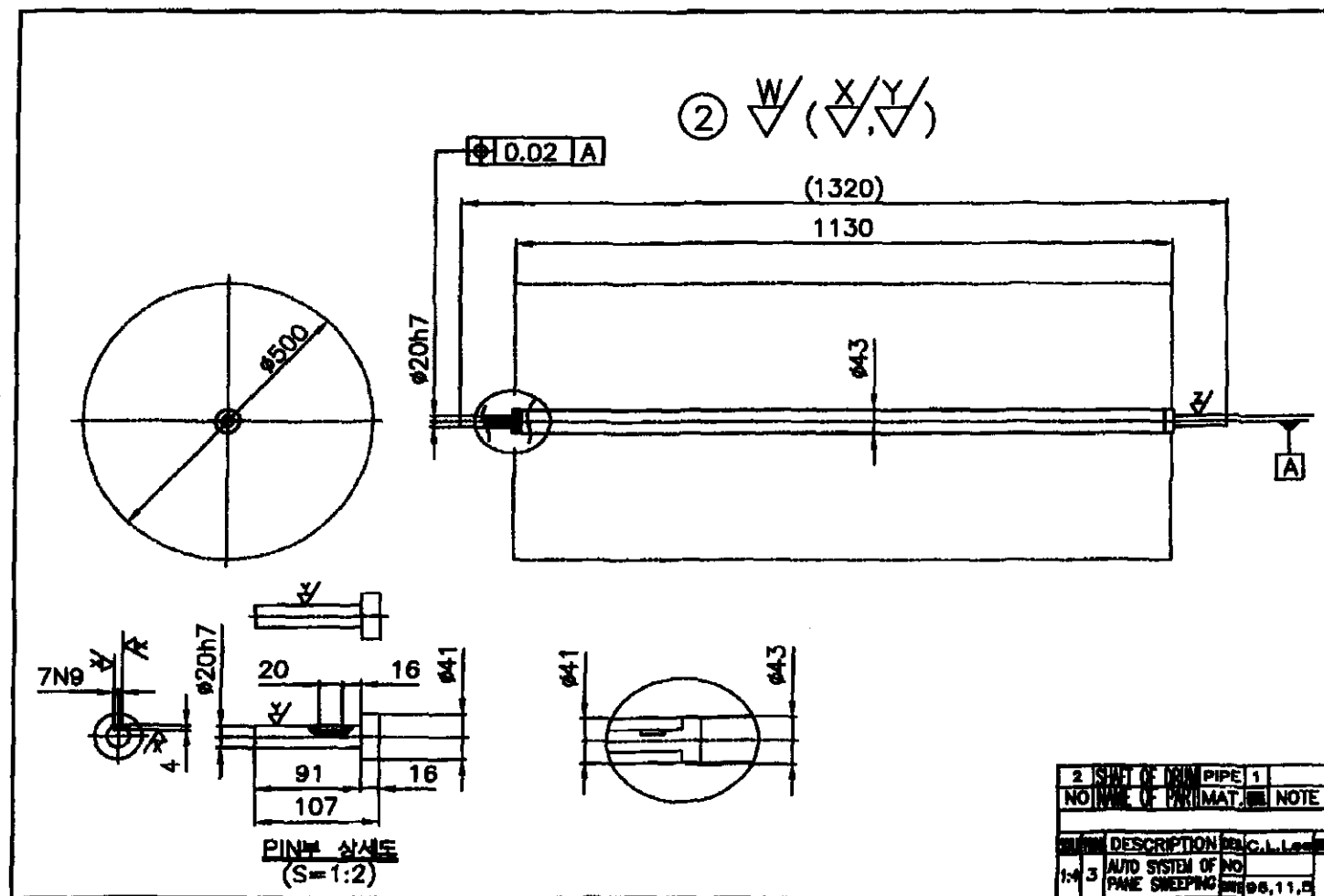


그림 4. 세척 Drum의 설계도

이에 필요한 공간이 필요하기 때문이다.

고정 장치에 의해 작동되는 두 Wire 사이의 폭도 일정한 크기 이상이 되어야 세척장치가 안전하게 작동된다. Wire Drum이 고정장치에 설치되므로 이에 따라 고정 장치의 폭이 결정된다. 고정 장치는 고층빌딩의 옥상으로 운반될 것을 고려해야 하므로 크기가 한정된다.

Drum의 무게를 산정하여 세척 장치의 무게 추정에 참고가 될 수 있도록 하였다. Shaft는 2 단으로 된 환봉이므로 두 부분으로 나누어 무게를 계산하여야 한다. 그러므로 Drum의 무게 (M)는 양쪽 Shaft의 무게 (M_1)와 Drum 파이프의 무게 (M_s)를 합한 것이다.

Shaft의 무게 (M_s)는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$M_s = \frac{\pi \rho}{4} (D_1^2 L_1 + D_2^2 L_2) = 0.40 \text{ [kg]}$$

여기서, D_1 = 가는 Shaft의 지름 = 2.0 cm

D_2 = 굵은 Shaft의 지름 = 4.1 cm

L_1 = 가는 Shaft의 길이 = 9.1 cm

L_2 = 굵은 Shaft의 길이 = 1.6 cm

ρ = Stainless 鋼의 밀도 = 7.97 g/cm³

그리고 Drum 파이프의 무게 (M_p)는 두께가 외경에 비하여 작으므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M_p = \pi \rho D_3 T L_3 = 1.22 \text{ [kg]}$$

여기서, D_3 = Drum 파이프의 외경 = 4.3 cm

L_3 = 파이프의 길이 = 113 cm

$$T = \text{파이프의 두께} = 0.1 \text{ cm}$$

따라서, Drum의 전체 무게 (M_D)는 다음과 같다.

$$M_D = 2M_1 + M_2 = 2.41 \text{ [kg]}$$

4.3 세척 Drum 구동장치의 선정

세척 Drum 구동용 Motor에서 사용되는 에너지는 Drum이 회전하는데 소요되는 에너지와 동일하므로 이에 필요한 에너지를 구하여 용량을 결정하고자 한다.

이 에너지를 구하기 위해 우선 Motor의 동력을 P_D , 유리와 세척제 사이에 작용하는 힘을 F_i , 유리와 세척제 사이의 마찰계수를 μ , 세척 드럼의 선속도를 v , Motor의 효율을 η 로 나타내기로 한다.

세척 Drum 자체가 유리면을 누르는 힘의 정도에 따라 세척상태가 달라질 것이다. 이 힘의 크기는 실험을 통하여 정하는 것이 바람직하나 여기서는 잠정적으로 5 kgf으로 가정하기로 한다. 세척 Drum과 유리면 사이의 마찰력은 매끄러운 상태를 유지할 수 있으면서도 마찰계수를 가능한 크도록 0.3으로 놓았다. 따라서 $F_D = 49 \text{ N}$, $\mu = 0.3$, $v = 20 \text{ [m/s]}$ 로 사용하여 모터의 동력 (P_D)을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_D = \mu F_D v = 0.294 \text{ [kW]}$$

세척 Drum 구동용 Motor는 세척장치의 무게를 적게 하기 위해 가능한

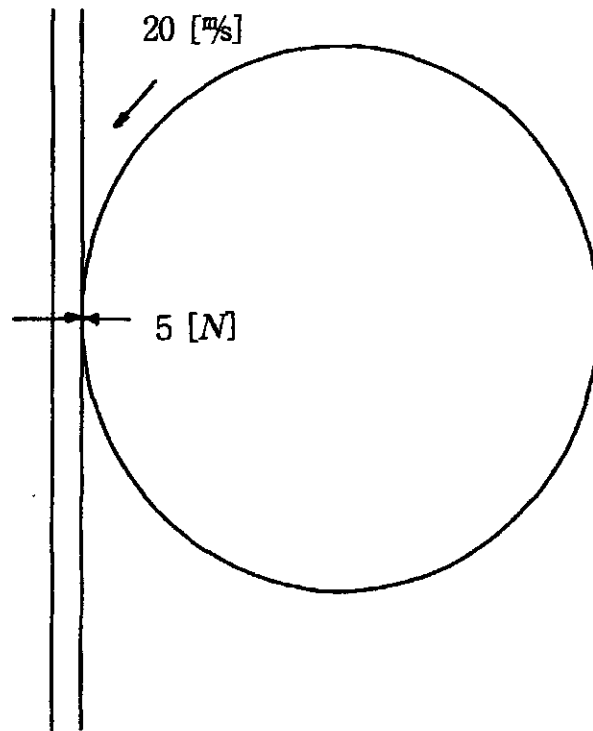


그림 5. 세척 Drum 작동 개요도

가벼운 것을 사용하는 것이 좋다. 따라서 중량에 비해 기동성이 좋고 저속에서도 힘이 좋은 DC Motor (0.35kW)를 사용하였다. 교류전원을 이용할 수 있도록 DC Converter를 사용하여 DC 전류를 공급할 수 있도록 하였다.

4.4 누름 Fan의 설계

누름 Fan의 설계 조건으로 세척장치의 무게가 증가하지 않도록 무게가

가벼우며 필요한 강도를 갖는 재질을 사용하여야 한다. 또한 세척장치 안에 넣을 수 있도록 크기를 제한해야 한다. 회전 날개의 각도가 커야 회전수에 비해 강한 추력이 발생된다.

Fan은 기존의 Data로 설계할 경우 오차가 많이 발생하므로 기존의 규격품을 적용하여 이를 실험한 후 기존 Data와 실험 Data를 참고하여 설계하는 것이 바람직하다.

일반적으로 Fan의 직경과 비교하여 Fan의 면적을 나타내는데는 Blade를 포함하는 원의 전체 면적 (AE)과 Blade의 면적 (AO)의 비를 사용한다. 아래의 식으로 Fan의 무게 (M_F)를 계산하면 다음과 같다.

$$M_F \simeq AE \times R \times t \times \rho \simeq 0.9 \text{ [kg]}$$

여기서, ρ = 알루미늄의 밀도 = 2.7 g/cm³

R = Fan의 AO/AE 비는 = 0.7

t = Fan의 두께 = 0.2 cm

D = Blade의 직경 = 55 cm

AE = Blade를 포함하는 원의 전체 넓이 = $\pi \cdot D^2/4 = 2,375.83 \text{ cm}^2$

4.5 Fan 구동용 Motor의 선정

Fan 구동용 Motor의 용량을 결정하기 위하여 먼저 물 분사에 의해 발생하는 반력이 어느 정도인지 추정하고 어느 정도의 누름 압력으로 유리면의 세척이 가능한지를 가정한 다음 이에 필요한 누름 압력에 따라 추력을 발생시킬 모터를 선택하고 제어할 수 있도록 설계하였다.

세척 Drum을 빌딩의 유리면에 밀착시키기 위해서는 누름 장치 Fan을 구동시켜 빌딩 유리면 방향으로 추력을 발생시켜야 한다. 그런데 여기서 노즐

로 분사되는 물이 빌딩 유리에 부딪치면서 발생하는 반력은 세척장치를 유리면에서 밀어내는 방향으로 움직이게 한다. 이 반력을 감안하여 Fan을 구동시켜야 세척이 가능하므로 반력이 어느 정도로 발생되는지 추정하여야 한다.

즉 분사량을 구한 후 반력을 계산하여 Fan 및 구동장치를 설계하여야만 최대 범위 이내에 있는 반력이 발생하더라도 세척장치를 빌딩 유리에 밀착시켜 유리를 세척할 수 있다. 벽면에 분사되는 반력은 이때 분사되는 각도에 따라 다른데 세척 최대 분사량에 의한 반력은 사각 유리면에 θ 만큼 경사각이 있는 상태에서 물이 분사되므로 아래 식에 의해 반력을 구하면 다음과 같다.

세척수가 분사될 때 발생하는 반력 (F_I)은 아래의 공식에 의하여 계산할 수 있다.

$$F_I = \frac{Q^2 \cdot \rho}{A} \sin \theta$$

여기서, Q = 세척수의 시간당 최대 분사량 = $10 \text{ l/min} = 1.66 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

ρ = 세척수의 밀도 = 10^3 kg/m^3 ,

A = 노즐의 단면적 = $\pi D^2/4 = 1.256 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

θ = 유리면에 세척수가 분사되는 각 = 15°

D = Nozzle의 내경 = $4 \times 10^{-3} \text{ m}$

위의 수치는 세척수를 물로 사용하고 분당 분사량 범위를 $2.9 \sim 10 \text{ l}$ 로 정했을 경우이다. 따라서 물이 분사되어서 발생하는 반력 (F_I)은 0.57 N 으로 계산된다.

날개의 직경이 0.55 m 인 Fan이 $1,750 \text{ rpm}$ 의 속도로 회전할 때 발생하는 최대 추력 (F_T)은 세척면에 필요한 힘 (F_D)과 물 분사에 의한 추력 (F_I)을 합한 값이므로 Motor 회전속도가 $1,750 \text{ rpm}$ 인 Motor를 사용하여 여기에 필요한 동력 (P_F)을 구하면 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$P_F = \frac{C_P}{C_T} F_T ND$$

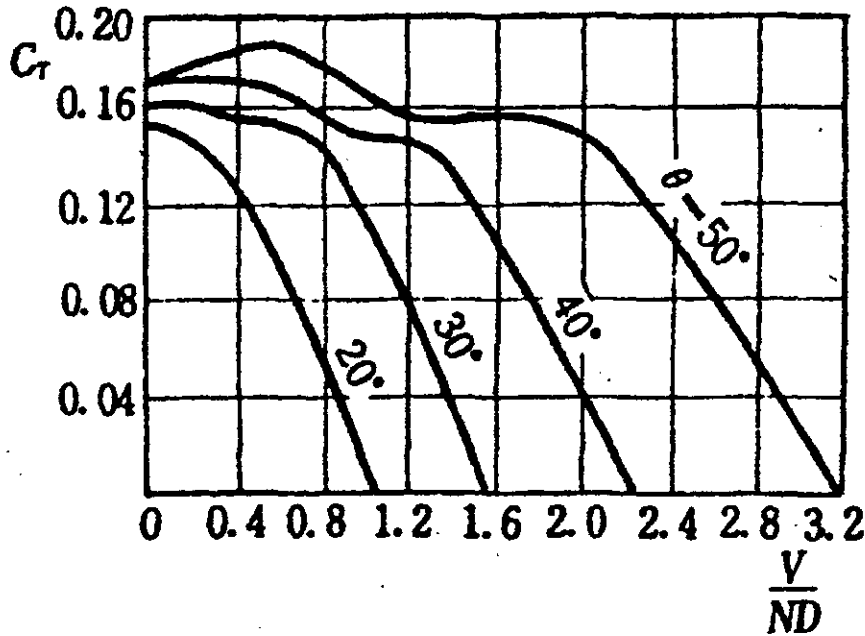


표 1. 전진율과 C_T 의 관계

C_T 는 추력 계수 C_p 는 동력 계수이며 무차원량으로 표시된다. 또한 세척 장치의 속도 (V), Fan의 회전수 (N) 및 Fan의 Blade 직경 (D)의 관계인 V/ND 는 전진율이라 하며, 이 전진율과 C_T 의 관계는 표 1에, 전진율과 C_p 의 관계는 표 2에 각각 나와 있다.

각 변수의 값은 다음과 같이 Motor의 분당 회전수 $N = 1,750$, 유리와 세척 Drum 사이에 작용하는 힘과 세척수가 분사할 때 발생하는 반력 (F_I)의 합이므로 $F_T = 49.57 \text{ N}$, $D = 0.55 \text{ m}$ 이다. Blade의 각(θ)을 20° 로 하면 세척장치의 전진속도가 0이므로 V/ND 또한 0이다. 그러므로 각 계수의 값은 표 1과 표 2에서 $C_p = 0.1$ 이고 $C_T = 0.15$ 이다. 따라서 필요한 동력 값을 구하

면 $P_F = 0.53$ [kW]가 된다. 여기에 충분한 여유를 두어 Fan 구동 Motor를 선정하는 것이 바람직하다.

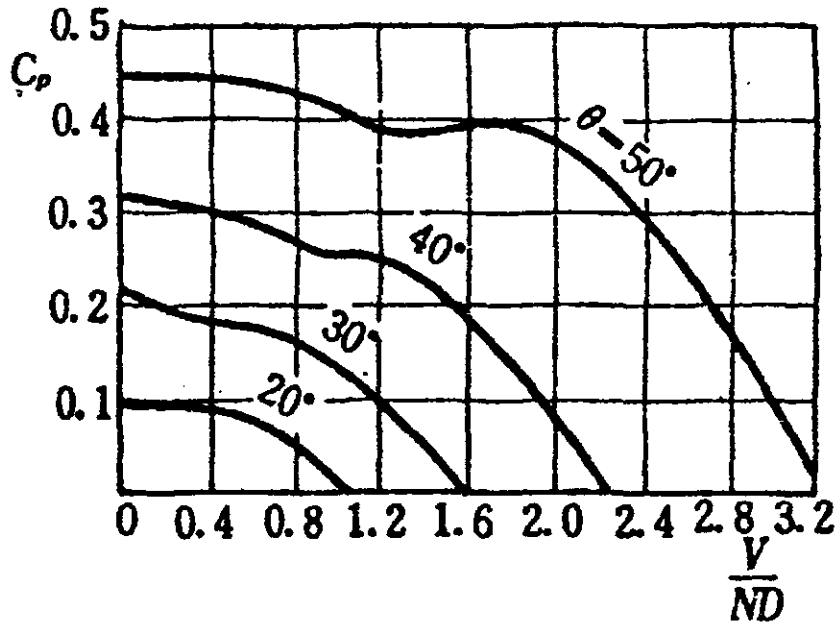


표 2. 전진율과 C_p 의 관계

4.6 Frame의 설계

Frame은 각 부분의 요소를 결합 및 지지해 주는 뼈대와 같은 것으로 이 역할에 알맞는 강도가 필요하다.

이 구조에서는 큰 부하를 받는 부분이 없으므로 강도의 계산이 요구되는 부분은 없다. 단지 전체 구조물 자체가 장기간 형상이 유지될 수 있고 작업 시 어느 정도의 외부 충격에도 견딜 수 있도록 설계하였다.

기존에 판매되는 재료를 가공하여 용이하게 조립 및 제작될 수 있게 하기 위해 규격품인 Stainless 鋼의 사각 Pipe를 절단 가공하여 조립할 수 있도록

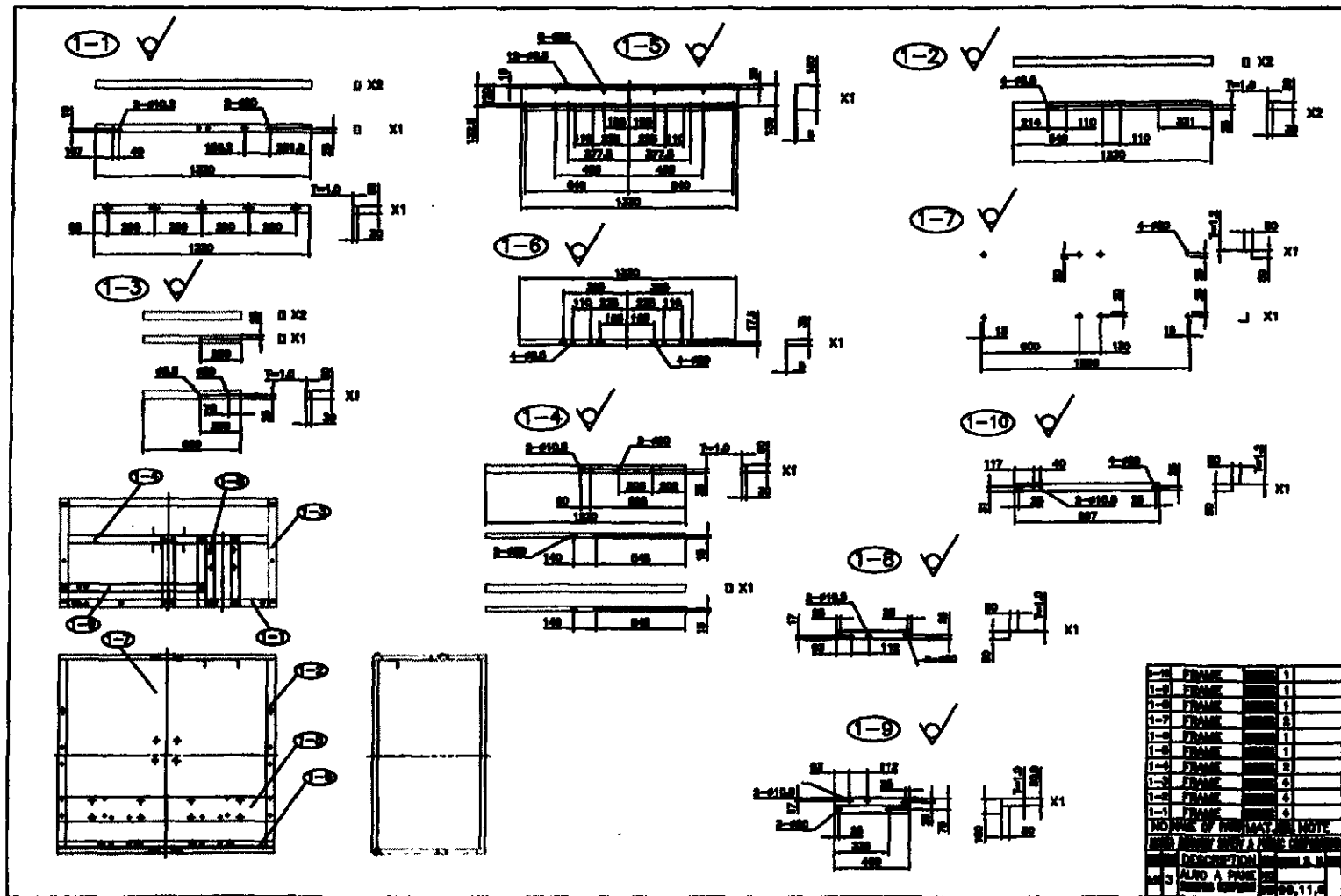


그림 6. Frame의 제작도

록 설계하였다. Stainless 鋼의 재질로 구조물을 제작하면 같은 규격의 다른 철 등의 재질보다 강도가 크다. 동일한 강도의 구조물을 제작하려면 다른 재질을 사용하는 경우에 비해 크기 및 두께가 작은 규격의 사각 Pipe를 사용할 수 있어 오히려 구조물의 무게를 작게 할 수 있었다.

또한 Stainless 鋼의 재질을 사용하면 외관이 미려하고 장기간 물에 노출되어도 부식이 되지 않는 장점이 있다.

Frame은 모든 장치 및 요소를 결합하고 유지시켜 주는 구조물이므로 이 자체만으로도 무게가 상당히 있다고 본다. 이 무게는 세척장치의 전체의 무게 중에서 적지 않은 부분을 차지하므로 이 무게를 산정하여 두는 것이 필요하다.

Frame은 그림 6과 같이 사각 파이프, ㄱ자형 및 T자형 Stainless 鋼의 재질로 하였다.

그림 7은 Frame에 사용되는 각 형강의 길이를 합한 것이므로 Frame 전체의 무게는 이 치수를 사용하여 구하면 된다.

따라서 이를 참고하여 각 Frame으로 구성된 구조물의 무게를 계산하면 다음과 같다.

사각 Pipe의 단면적 (A_1) = 전체 단면적 (A_{11}) - 내부홀의 단면적 (A_{12})

$A_1 = 156\text{mm}^2$ 이고 길이 $L_1 = 18,000\text{mm}$ 이므로 사각 파이프의 체적 (V_1)은 다음과 같다.

$$V_1 = A_1 L_1 = 2,808,000\text{mm}^3$$

ㄱ자 형강의 단면적 (A_2)는 $A_2 = A_{21} - A_{22}$ 에서 값을 구하면 118.56mm^2

이다.

따라서 ㄱ자 형강의 체적 (V_2)는 이 형강의 길이 (L_2)는 4,570mm이므로 다음과 같다.

$$V_2 = A_2 L_2 = 541,819.2 \text{ mm}^3$$

T자 형강의 단면적 (A_3)는 100mm×50mm의 사각면의 면적 (A_{31})에서 98.8mm×48.8mm인 사각면의 면적 (A_{32})을 뺀값으로서 $A_3 = A_{31} - A_{32} = 178.56 \text{ mm}^2$ 이다.

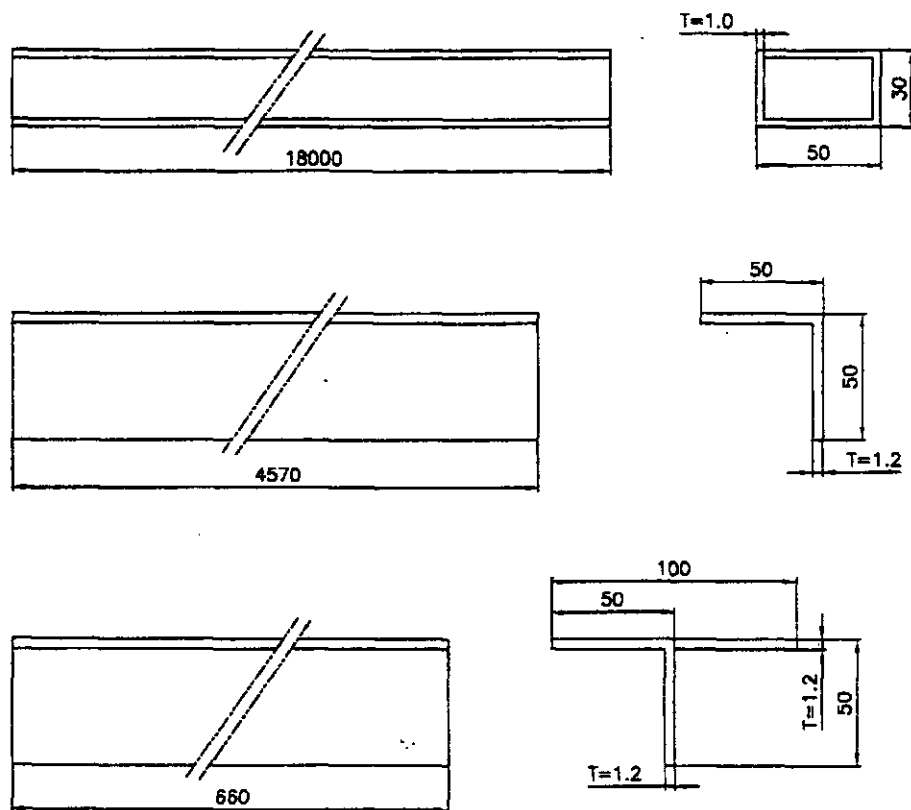


그림 7. Frame에 사용된 Stainless 鋼

따라서 그림 7에서와 같이 ㄱ자 형강의 체적 (V_3)은 이 면적 (A_3)에 길이 (L_3) 660mm를 곱한 값이므로 다음과 같다.

$$V_3 = A_3 L_3 = 117,849.6 \text{ mm}^3$$

따라서 Frame의 전체 체적 (V_T)는 V_1 , V_2 , V_3 의 값을 합한 값이므로 다음과 같다.

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 = 3,467.67 \text{ cm}^3$$

Frame의 중량 (M)은 이 부피(V_T)에 밀도 (ρ)를 곱한 값이다. 여기서 Stainless 강 의 밀도 (ρ)는 7.97 g/cm³이므로 Frame의 중량 (M)은 다음과 같다.

$$M = V_T \cdot \rho = 27.64 \text{ [kg]}$$

4.7 분사장치의 설계

노즐로 물을 분사할 때 물이 유리면에 닿는 부분과 세척 Drum의 길이가 일치하여야만 효율적인 유리세척이 될 수 있다.

물이 유리면에 분사되는 부분과 세척 Drum의 길이가 일치되게 하려면 노즐을 통해 물이 퍼지는 노즐의 부착위치, 측면 분사각을 각각 조정하여야 한다.

세척장치에 노즐의 설치 위치를 정하기 위해서는 노즐에서 세척수가 분사되어 유리면에 도달되는 하방 수직거리 (a)를 먼저 구하여야 한다.

이를 구하기 위해 각 변수를 다음과 같이 정하기로 한다.

d를 구하려면 노즐에서 분사되는 물의 끝단과의 수직거리 (a)를 구하여야 한다.

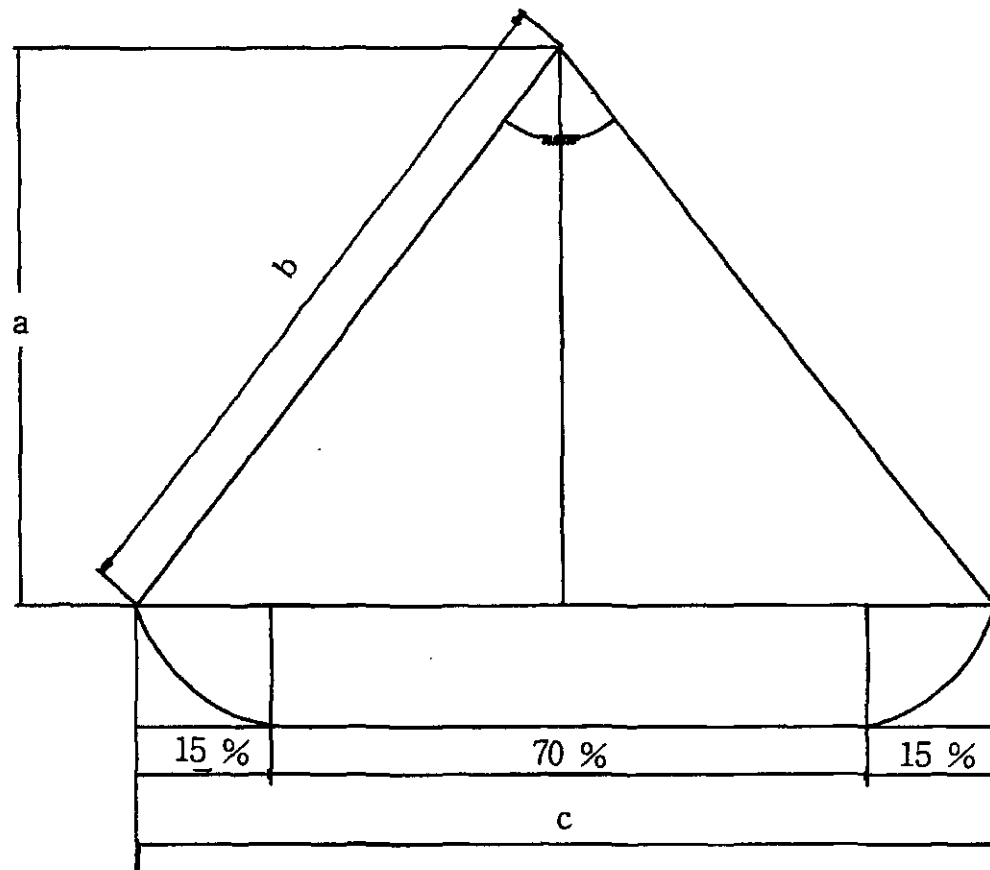
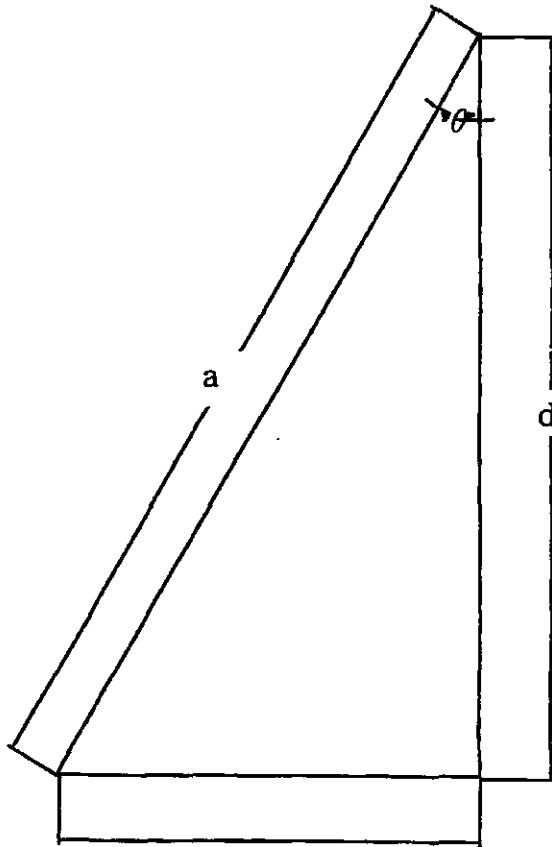


그림 8. 세척수 분사 정면 개요도

그러므로 그림 9와 그림 10에서 보는 바와 같이 a, b, c, d 및 θ 는 다음과 같은 관계가 있다.

θ 는 128° 이고 c는 1,250mm이므로 a의 값은 다음과 같다.

$$a = \frac{\frac{c}{2}}{\tan \theta_1} = 304.83 \text{ mm}$$



- a: 노즐에서 분사되는 물의 끝단과의 수직거리
- θ : 세척수 분사각
- b: 노즐에서 분사되는 빔변거리
- c: 세척수가 분사되어 유리면에 닿는 부분의 폭
- d: 노즐에서 유리면으로 분사되는 물의 수직거리

그림 9. 세척수 분사 측면 개요도

세척수의 측면 분사각 (θ_2)는 25° 이고 그림 9에서 d는 다음의 관계가 있으므로 아래와 같이 구하였다.

$$d = a \cos \theta = 276.27 \text{ mm}$$

위의 방법으로 정한 위치에 노즐을 설치할 수 있도록 그림 10과 같이 분사장치 고정 Bar를 설계하였다.

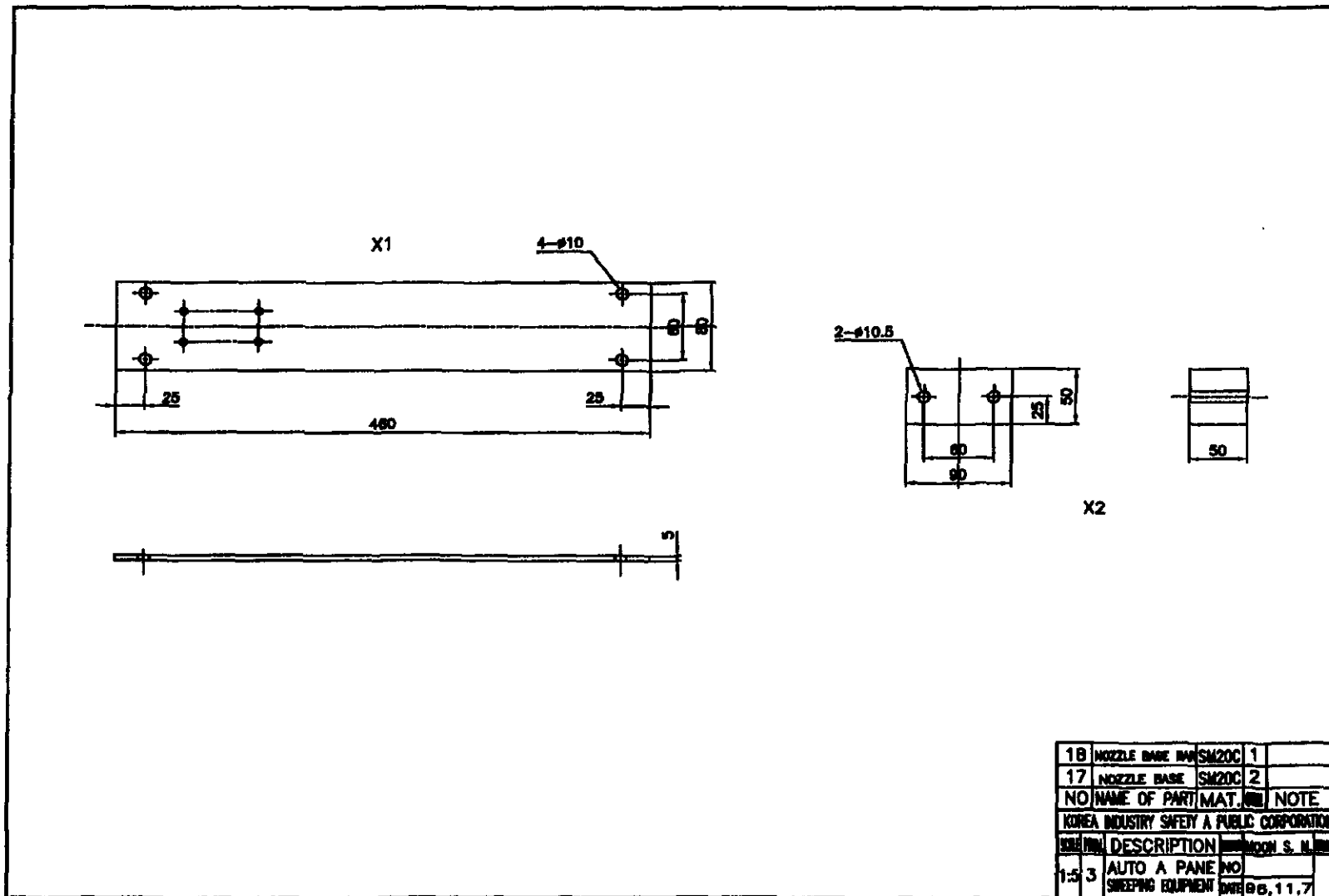


그림 10. 분사장치 고정바

4.8 Bearing Cover의 설계

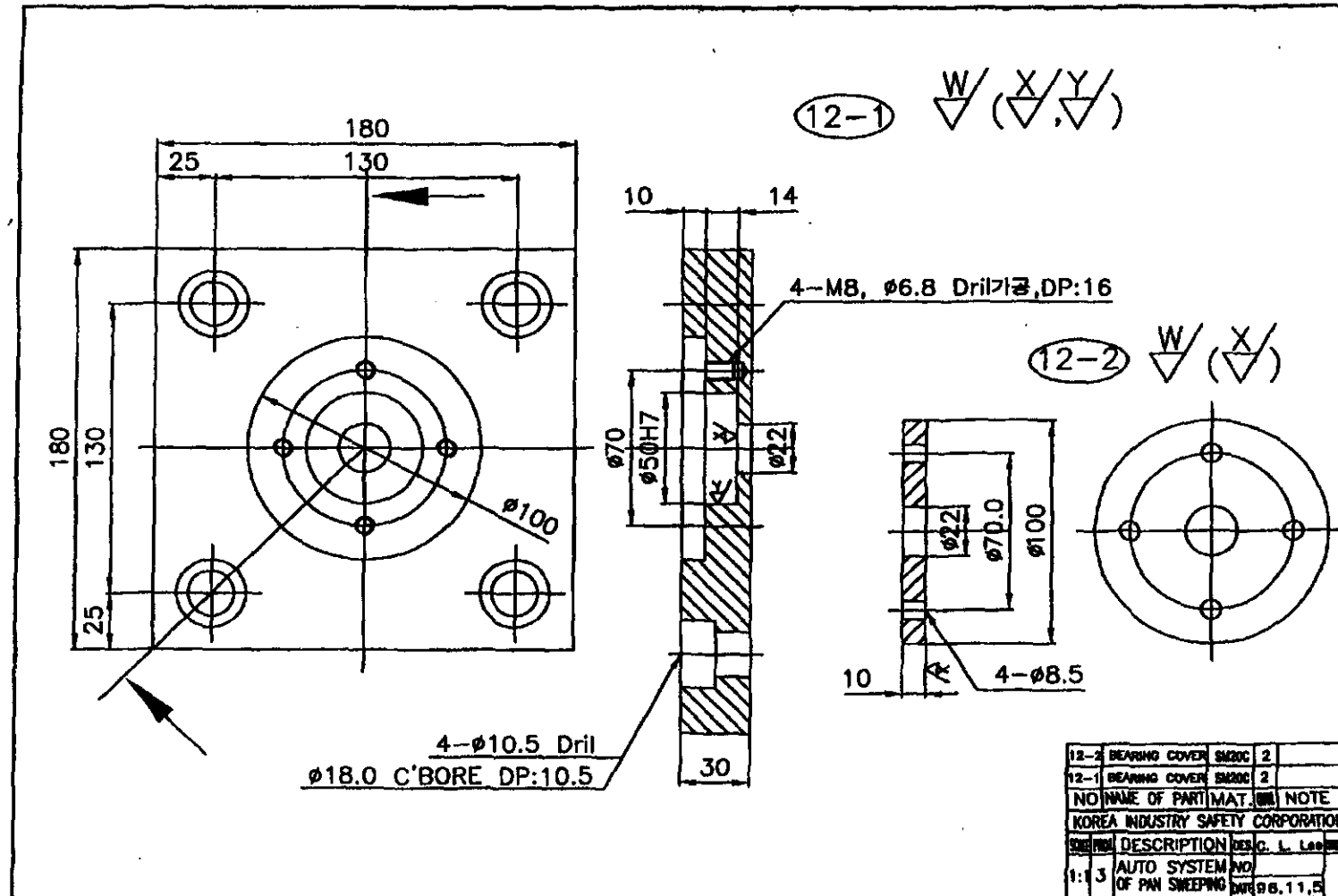


그림 11. Bearing Cover의 제작도

Bearing Cover는 Bearing을 고정하여 제 위치에서 이탈하지 않게 하기 위해 그림 11과 같이 설계하였다. Fan의 회전에 의한 추력으로 인하여 Bearing이 그 위치에서 이탈되지 않도록 Bearing이 고정되는 Bracket의 부분에 Fan이 위치한 공간에서 부착될 수 있게 하고 그 윗면에서 다시 Bearing Cover를 Bolt로 고정시켰다. Bearing의 직경은 100mm이므로 모서리의 네부분에 직경 6.8mm 사이즈로 Drill 가공하여 Bearing을 Bracket에 볼트로 조여서 고정시킬 수 있도록 하였다.

4.9 세척 Drum Cover

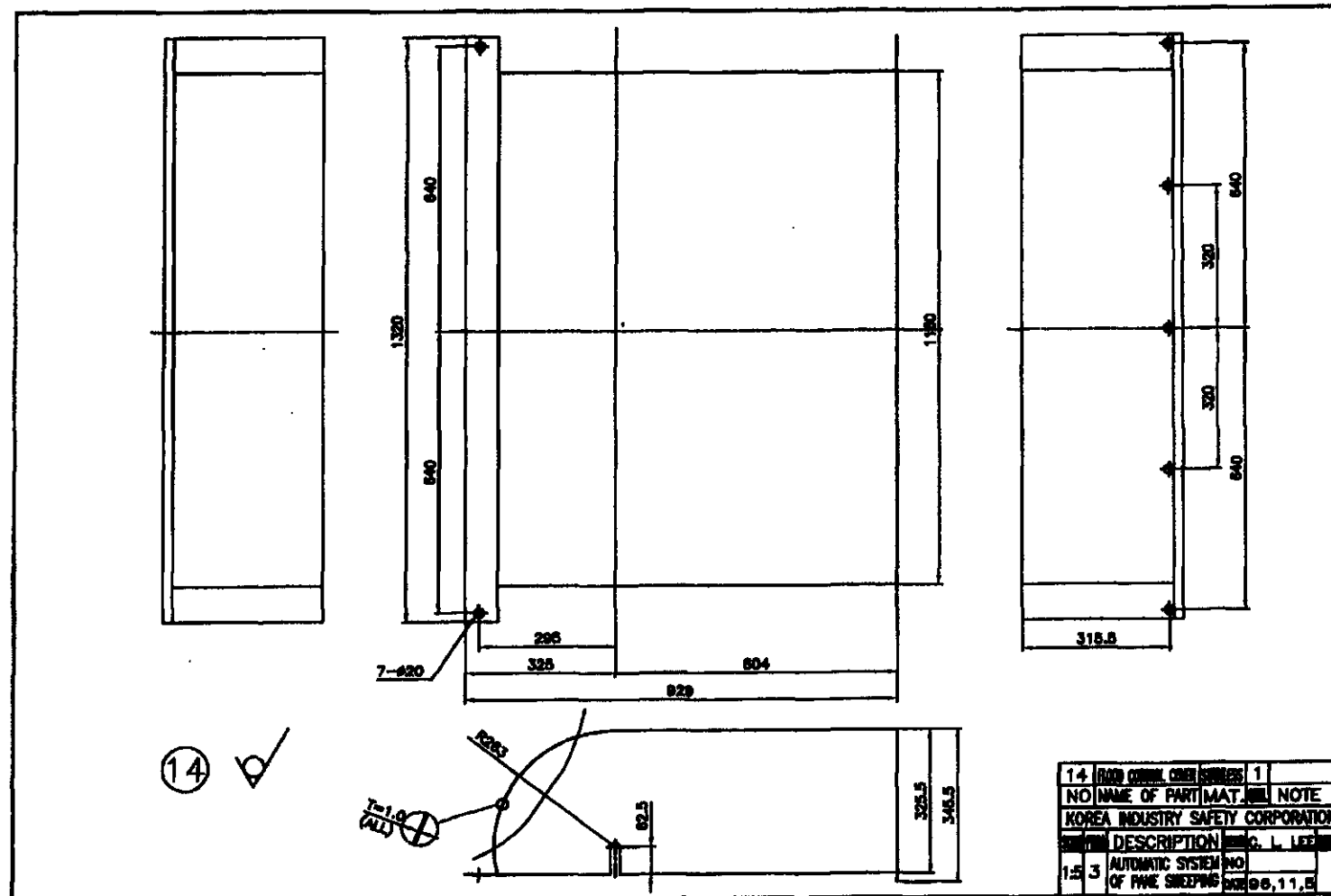


그림 12. 세척 Drum 커버의 설계도

세척 Drum Cover는 세척 Drum의 회전에 의하여 세척장치의 내부로 물이 튀는 것을 방지하기 위하여 그림 12와 같이 설계하였다. 이는 각각의 Motor나 Fan으로 물이 튀는 것에 의해 각 부분의 요소에 손상이 가지 않도록 하는 기능을 한다. 또한 물이 세척장치의 외부로 튈 경우 세척이 된 다른 부분을 더럽히게 하거나, 세척장치 주변 아래의 사람들에게 피해를 줄 수 있으므로 이를 방지하기 위한 것이다.

Drum의 회전시 원심력에 의해 털이개가 퍼져 Drum의 Cover에 닿지 않도록 여유를 주어 Drum의 회전에 저항이 발생되지 않게 설계하였다.

Drum의 하부 전체는 모두 Cover를 하고 상부는 Drum의 구동 동력이 전달될 수 있도록 Pulley와 Belt가 연결되는 부분에 공간을 두어 설계하였다.

4.10 제어장치

Motor 및 제어방식의 선정은 회전속도나 전력 소모, 신뢰도 및 제어의 용이성 등을 고려하여 선택하였다. 누름 Fan Motor의 전원은 교류 220V로 하여 어느 빌딩에서나 전원을 쉽게 연결하여 사용이 가능하게 하였다.

속도 조정면에서의 정확도가 그리 중요하지 않으므로 가격이 저렴한 일반 교류 Motor를 사용하였다.

세척 Drum 구동용 Motor도 또한 회전속도의 정확도가 중요하지 않다. 마력수에 비해 모터의 크기가 작고 감속기어가 설치되어 있는 것을 사용하였다. 또한 이와 같은 종류의 Motor는 부품으로 사용하기에 간편하며 고장률이 적고 구입가격도 비교적 저렴하여 여러 면에서 장점이 많다.

그러나 Drum 구동 Motor는 DC 전류를 전원으로 하므로 AC전원을 사용하는 Fan구동용 Motor를 함께 제어할때는 주의가 필요하다.

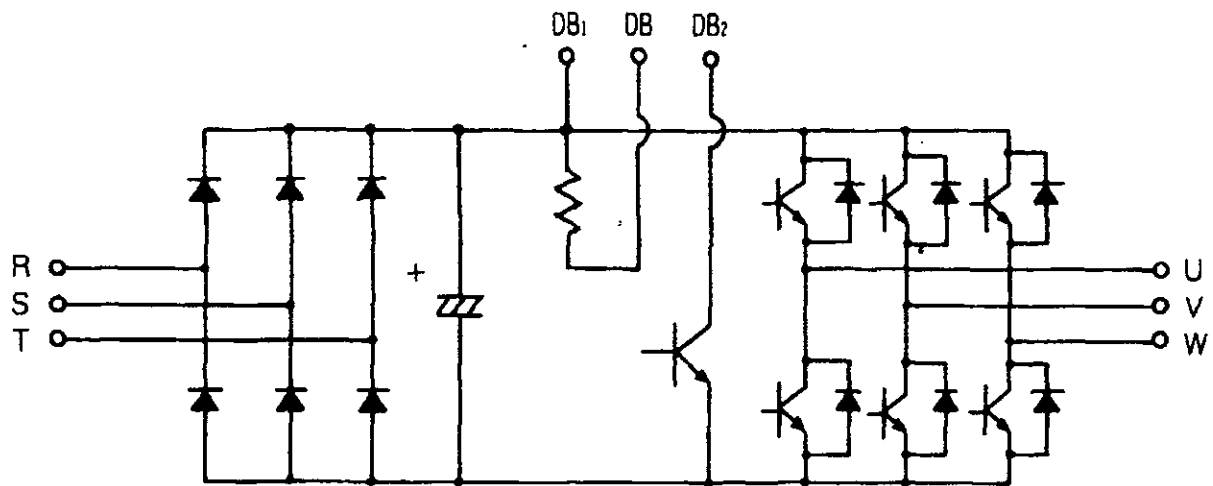


그림 13. 인버터의 주회로도

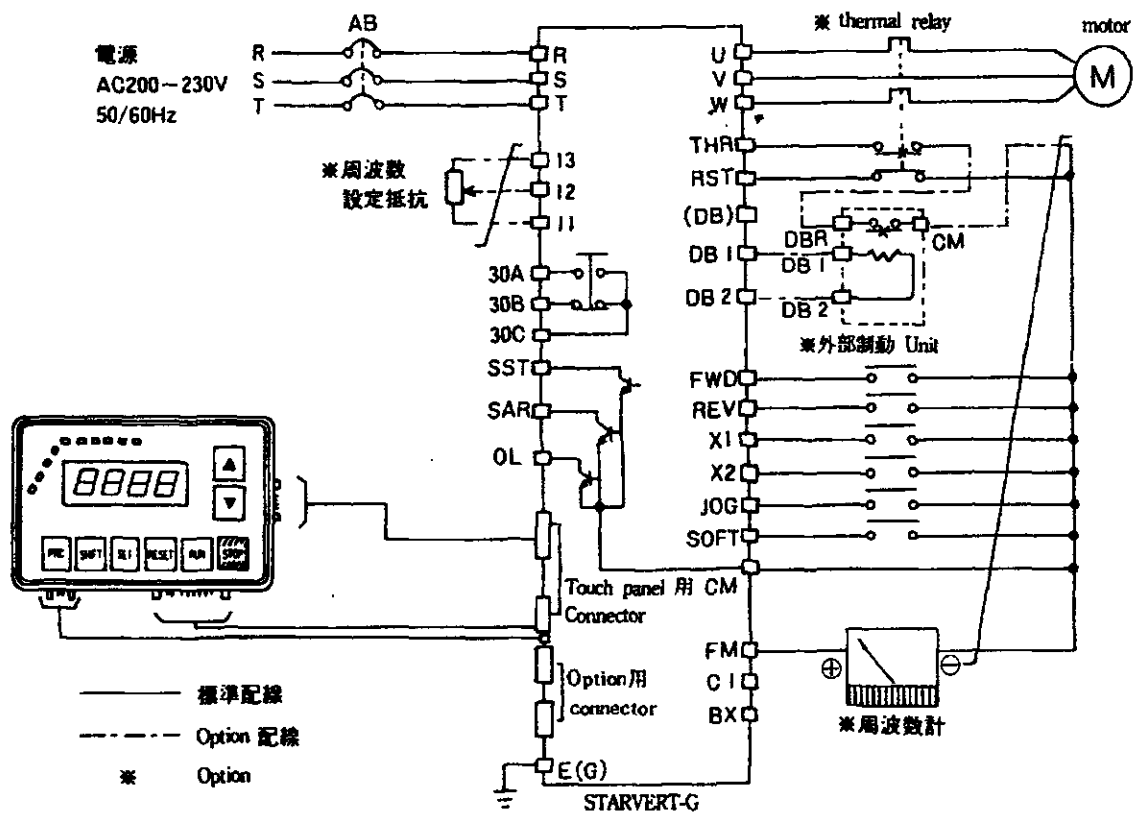


그림 14. 인버터의 기본 접속도

제어의 방식은 원래 속도 변형 형태가 연속적이지만 실제에 있어서는 이 연속선상의 여러점을 선택하여 제어하게 된다.

따라서 제어점을 선정하려면 모터 회전속도의 변환 범위를 넓게 두고 세척실험을 하여 이 실험 데이터를 참고해서 세척장치의 누름 정도와 Drum의 회전속도 제어가 필요한 범위 내에서 제어점을 선정하여야 한다.

제어의 방식은 변환변수를 일정한 간격을 두고 제어하는 방식과 선형곡선에서 어느 지점에서나 제어 할 수 있는 방식으로 구분할 수 있다.

여기에서 세척장치는 개발단계의 실험시에만 많은 단의 제어가 필요하고 모델 실험으로 어느 정도 Data가 확보되면 세척에 필요한 몇 가지 제어 채널만 선택할 수 있도록 하면 된다.

일반적으로 빌딩의 전원은 220V으로 되어 있으므로 이 전원들을 전압의 변환 없이 바로 이용할 수 있도록 Fan 구동용 Motor는 220V의 교류 Motor를 사용하였다.

인버터를 이용하여 교류전동기를 구동 및 제어하면 보수, 점검의 간소화 외에도 습기, 열 등의 설치조건이 비교적 까다롭지 않은 장점이 있고 또한 전력소모가 적어 운영면에서 경제적인 면도 있다.

그림 13의 인버터의 주회로도는 그림 14의 인버터의 기본 접속도 IC 내부의 기본회로도이다. 이 회로도에서 각각의 U, V, W점은 모터와 연결되는 선이고 R, S, T는 전원과 연결되는 선이다.

DB₁, DB DB₂는 수동으로 조작을 하지 않고 센서 등의 의해 자동으로 속도를 변환시킬 때 사용된다.

5. 맺 음 말

본 연구에서는 기존에는 사람들이 위험하게 작업하던 고층빌딩의 외벽 유리 청소를 기계장치에 의하여 안전한 장소에서 원격조정으로 할 수 있도록 자동 청소 장치를 설계하였다. 이 장치는 빌딩 외벽에 설치한 Wire에 매달려 내려오면서 호스로 공급 받은 물을 노즐을 통하여 빌딩 유리에 분사시키고 장착된 세척 Drum을 통해 세척될 수 있도록한 장치로서 설계 개요는 다음과 같다.

- 사람이 설비에 탑재하지 않은 상태에서 옥상이나 아래에서 유무선으로 제어가 가능하도록 제한하였다.
- 화물용 승강기에 의하여 빌딩 상부까지 운반이 용이하도록 세척장치의 폭을 1,330mm로 하였다
- 세척장치는 빌딩 상부까지 운반하여 설치하지 않고 빌딩 아래에서 Wire에 부착된 고리로 바로 설치될 수 있게 하였다.
- Drum의 규격 및 Size는 직경 (D) = 43mm, 세척털이개의 직경 (Drum 직경 포함) = 500mm, Drum의 길이 (L) = 1,130mm로 하여 빌딩의 상단에서 하단까지 1회 운전시 1,100mm의 폭 만큼 세척이 가능하게 하였다.
- Fan 구동 Motor의 사용전원은 AC 220V으로 하여 어느 빌딩에서나 전원을 쉽게 연결하여 사용할 수 있게 하였다.
- Fan의 최대 회전속도는 1,750 rpm으로 하고, Fan이 장착된 누름 장치의 최대 추력은 5.37 N으로 설계하였다.

향후 시제품을 제작하여 실험한 후 실험 데이터를 토대로 설계를 개선하

여 세척능력의 향상, 설치운반의 편리성 제고, 장치이동 제어성의 향상, 누름 Fan의 효율화 등을 도모할 필요성이 있다. 또한 어느 빌딩에나 이 세척장치를 보다 쉽게 이용할 수 있도록 이를 제작하면 더 많은 고층빌딩 외벽 청소에 편리하게 사용할 수 있을 것이다. 이 자동유리 청소장치가 개발되어 현장에 널리 보급되어 사용되면 지금까지 위험한 고층빌딩 외벽 청소작업에서 발생해 오던 많은 재해를 예방할 수 있게 되리라 기대된다.

참고문헌

- [1] 紙谷株男, 電動機 制御 System, 世和, 1987. 5.
- [2] 張勝植, Inverter 應用 Manual, 技多利, 1975. 3
- [3] 伊藤正八, 自動制御 System, 世和, 1987. 7
- [4] 孫炳鎭, 流體力學, 喜重堂, 1990.
- [5] 金仁鎬 外, 一般物理學, 三亞社, 1983.
- [6] 小栗富士雄 및 小栗達男, 標準 機械設計圖表 便覽, 大光書林, 1987

고층빌딩 자동유리 청소장치 개발

(기안연 96-3-3)

발 행 일 : 1996. 12.

발 행 인 : 원장 이 한 훈

연구수행자 : 이 충 렬

발 행 처 : 한 국 산 업 안 전 공 단

산 업 안 전 연 구 원

(기전안전연구실)

주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-4

전 화 : (032)5100-686

(032)518-0230

F A X : (032)518-6483

비매품