

PNEUMATIC CONVEYING LINE 문제점 및 개선대책

- 삼성코닝 구미공장 (2000.07)

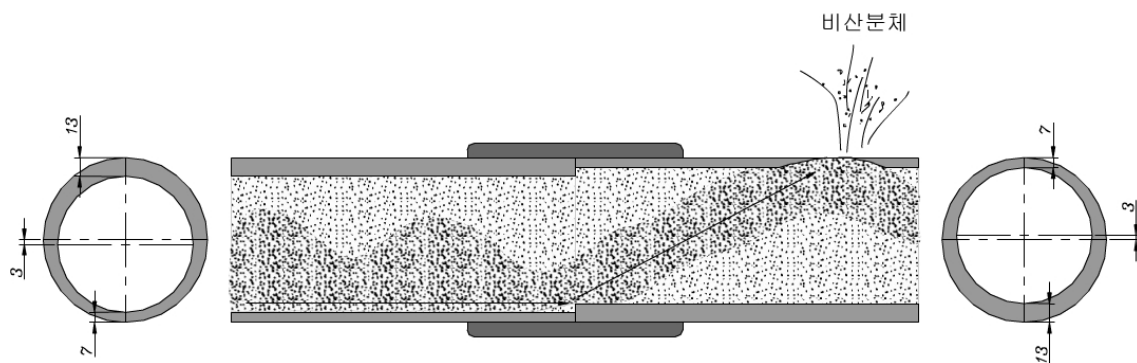
. CONVEYING LINE 의 문제점

1) CONVEYING PIPE

현재 사용중인 Conveying Pipe 의 품질수준이 아주 열악한 상태로 Conveying Line 설치시 가장 유의해야 할 부분이 간과되어 있으며 다음과 같다.

.Conveying Pipe 의 품질로 이는 재질보다도 더욱 중요한 문제로 직진도와 내경과 외경의 동심도 및 진원도의 중요성은 가장 기본적인 문제이다.

현재 설치된 Conveying Pipe 는 그 두께는 10mm 가 넘는 두꺼운 자재를 사용하고 있으나 동심도가 큰 것은 5mm 이상 차이가 나고 있어 이를 외경기준으로 Pipe Band 를 이용하여 연결 조립하고 있는바 지금 현재의 Conveying Pipe 의 마모로 인한 누출현상은 이미 예상 가능한 현상으로 그 이유는 다음과 같다.



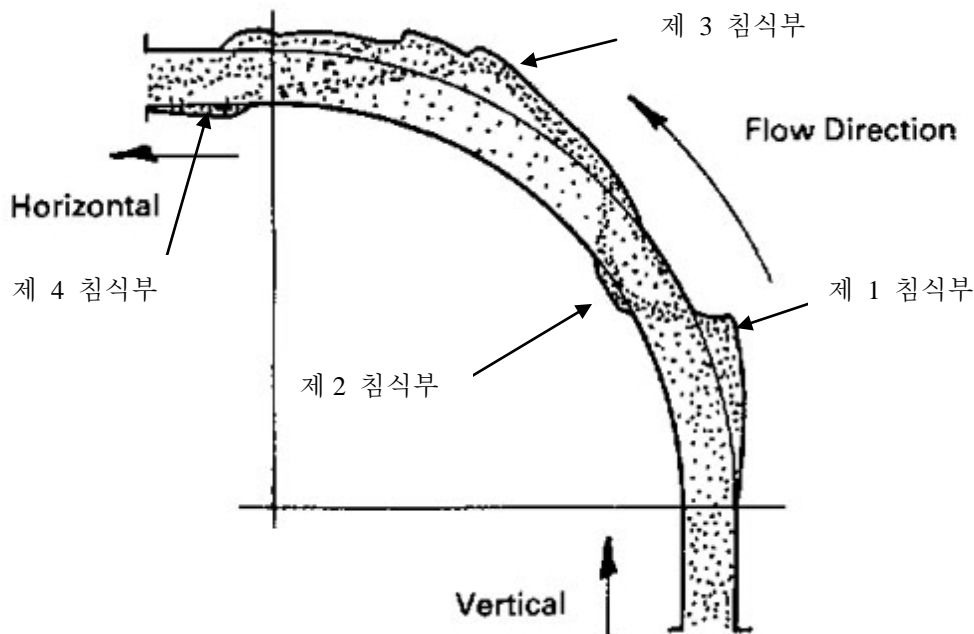
[그림 1] Conveying Pipe 단차에 의한 이상침식 현상

[그림 1]과 같이 Conveying Pipe 의 동심도가 3mm 편차일 경우 외경기준의 Pipe Clamp 로 조립 배관하였을 최악의 상황에서는 위와 같이 6mm 의 조립 편차를 가지며 이런 경우는 위의 그림과 같은 돌출부의 이상흐름 발생으로 돌출부의 반대 방향에서 이상마모가 발생하여 조기 마모 및 이송관로 파손 현상이 초래된다. 이 경우 관로와 이송원료의 충돌각도가 제출된 자료 굴곡부의 침식 1.3 충돌각도와 표면재료의 영향에서 나타난 최대 침식각도인 20~30°로 충돌하게 되어 이송관로의 침식이 빠르게 진행된다. 따라서 위의 현상을 없애기 위해 관로의 교체작업이 시급히 이루어 져야 할 것으로 판단됨.

2) ELBOW

.현재 사용중인 가장 오래된 고전적인 방법의 ELBOW 로 이는 단반경의 굴곡부에 바깥면에 두꺼운 주강품으로 덧살을 입혀 두께를 키워 교체 가능토록 한 방식으로 이는 일시적인 수명 연장은 가능하나 근본적인 해결책은 되지 못한다. 이는 제출된 자료 굴곡부의 침식 1.5

마모형태에서와 같이 Bended Pipe 를 이용한 Elbow 의 치명적인 결점으로 다음과 같은 현상이 발생한다



[그림 2] 굴곡부(BENDED PIPE)의 마모형태

[그림 2]에서와 같이 BENDED PIPE 를 이용한 ELBOW 에서는 단.장반경의 ELBOW 와 관계 없이 다소간의 차이를 제외하고는 위와 같은 현상을 근본적으로 막을 수는 없다.

위 그림은 상당한 마모가 일어난 후의 유동형태를 보여준다. 굴곡부는 시간에 따라 점진적으로 마모되고 그 과정에서 충돌각도는 바뀌게 되었다. 굴곡부 21°각도에서 처음 일어난 침식이 초기 마모점(제 1 침식부)을 자리잡게 하였다. 입자들은 어느 정도 깊이의 " 마모 주머니 "가 형성된 후 굴곡부의 76°각도에 있는 2 차 마모점(제 2 침식부)과 굴곡부 내부의 마모를 충분히 진행시킬 수 있게 편향(偏向)되어 나갔다. 제 3 차의 작은 마모점(제 3 침식부)이 굴곡부의 87°각도에서 결국에는 발생되었다. 산업현장에서 손상된 굴곡부를 교체하기에 앞서 잘 보강된 굴곡부가 사용된다면 1 차 이후의 마모점들에서의 편향은 굴곡부 하류인 직선관로(제 4 침식부)의 침식을 야기할 것이다.

3) 이송관로내의 이송속도

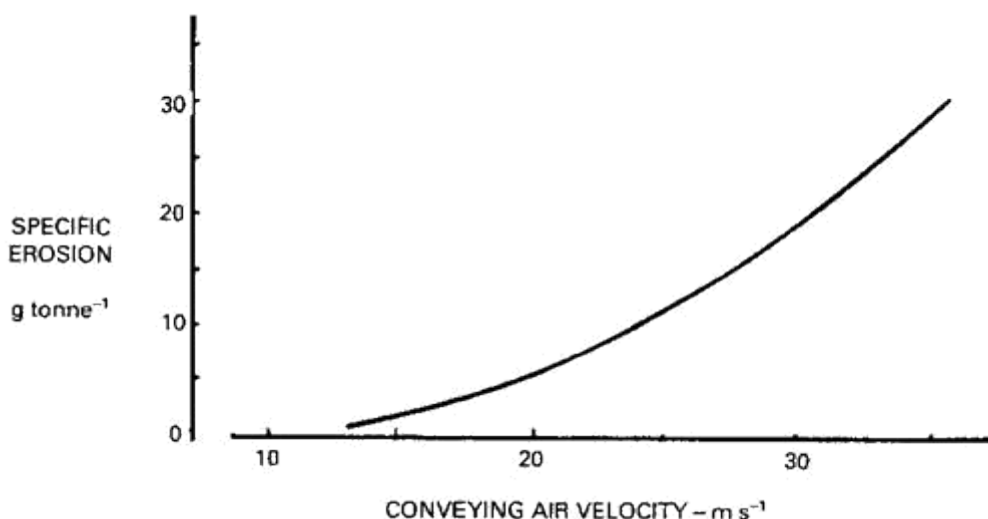
관로침식의 가장 주된 요인은 이송재료의 속도이며 많은 단체들이 속도-마모관계를 공식화하는 작업을 하고 있다. 그 중 런던 테임즈 폴리테크닉의 밀스와 메이선 그리고 미국의 인디안 기술연구소의 애거월이 아래와 같이 발표한 속도와 비침식과의 관계식이 보편화 되어 있다.

Specific Erosion = (Ratio of Velocity)^{2.65}

여기서의 Ratio of Velocity 는 이송초속도와 이송종속도를 평균한 평균이송속도의 비를 뜻하는 것이며 [평균이송속도 = (이송초속도 + 이송종속도) / 2], 이 공식으로 " 가) Life Cycle Cost 비교시험의 예 " 의 SYSTEM 3 의 600 ft/min. 의 속도를 갖는 Dense Phase Conveyor 와 SYSTEM 1 의 5000 ft/min. 의 속도를 갖는 Dilute Phase Conveyor 에 설치된 이송관로의 마모 경향을 비교하면 다음과 같아 진다.

(5000/600)^{2.65} = 275.53

이와 같이 Dilute Phase Conveyor 가 Dense Phase Conveyor 보다 가)항의 비교시험한 System 간에서는 이송관로의 마모경향이 275 배 이상이 된다. 이 공식에 의한 마모경향 비교는 Life Cycle 동안의 이송관로 교체비용으로 나타나며 가)항의 시험결과에서도 \$ 24,000 과 \$ 2,000 로 12 배의 차이를 보이고 있다. 이러한 결과는 마모성 재료의 이송에는 저속의 Dense Phase Conveyor 의 채택이 관로의 침식을 감소시키는 데 보다 효과적임을 보여주는 것이다. 침식에 대한 대다수의 연구들에서 이송공기속도의 증가에 따른 표면에서 침식되는 질량의 증가는 속도에 약 2.65~3.5 의 지수관계(指數關係)를 갖는 힘의 법칙으로 표현될 수 있다고 제시되고 있다. 뉴메틱 이송관로에 강재(鋼材)의 굴곡부를 사용한 시험들은 속도의 지수값을 확실하게 한다. 굴곡부에서 침식된 질량에 대한 이송공기속도의 영향을 보여주는 그래프가 [그림 3]에 주어져 있다.



[그림 3] 연강굴곡부의 침식에 대한 이송공기속도의 영향

현 설비는 계량된 1BATCH 의 제품을 BATCH 단위의 이송방식을 적용해야 하는 문제로 처음의 이송공정에서는 DANSE PHASE 방식으로 이송관로내에 제품이 공급되고 이송되어 지나

마지막 공정에서 이송관로를 비워야 하기 때문에 CLEANING AIR 를 공급하고 있어 이때 다량의 AIR 가 추가되고 또한 증압기를 통한 다량의 AIR 가 추가되는 관계로 관로내의 공기 이송속도가 급격히 증가하여 잔량의 원료를 이송관로내에서 비우는 공정에서 급격한 침식마모를 증가시키는 것으로 판단되어진다.

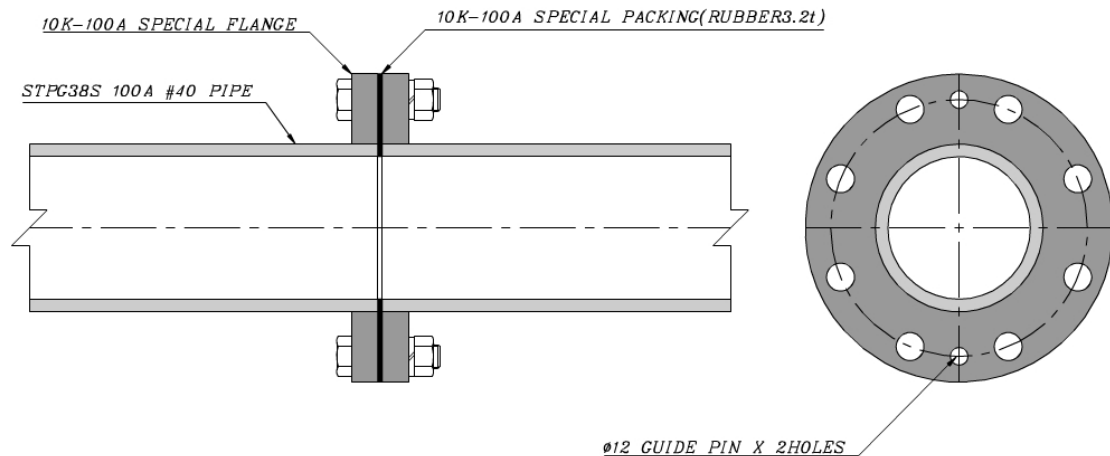
. CONVEYING LINE 의 문제점 해결

1) CONVEYING PIPE

위 문제점에서 언급된 내용들을 다음과 같이 조치하여 문제해결을 한다.

CONVEYING PIPE 의 직진도와 동심도의 문제를 해결하기 위해 현재 폐사에서 적용하고 있는 STPT38S #80 의 고압배관용 PIPE 의 적용을 추천하며 이는 100A #80 일 경우 PIPE 두께가 8.6mm 이며 WELDING LINE 이 없는 제품으로 직진도와 동심도는 국제규격에 따라 거의 오차가 없고 제품의 품질은 아주 신뢰할 만 하다.

설치 방법은 [그림 4]와 같이 조립시 동심도를 유지 단차를 없앨수 있도록 별도의 FLANGE 를 제작 용접하고 이를 GUIDE PIN 으로 동심도를 유지시켜 조립하는 방법을 적용한다



[그림 4] 이송관로의 개선

위 그림과 같이 PIPE 연결용 FLANGE 를 별도 제작하여 PIPE 외경과의 공차를 최소(Max 0.3mm 이내)로 줄이고 동심도 유지를 위한 GUIDE PIN 을 조립하여 FLANGE 연결시 BOLT HOLE 공차에서 오는 단차를 근본적으로 제거하였고 RUBBER PACKING 또한 PIPE 의 내경과 동일한 치수로 제작하여 조립해 이송 관로내의 이상흐름으로 인한 이상침식을 최소화하도록 설계, 제작 및 설치 시공하여 개선한다.

2) ELBOW

위 문제점에서 언급한 ELBOW 의 문제점은 아주 심각한 것으로 전체 Pneumatic Conveying System 의 설비보전상의 가장 크고 빈도가 빈발한 문제점으로 이의 해결이 Pneumatic

Conveying System 의 운전비용 및 가동효율, Line 생산성을 크게 좌,우 한다.

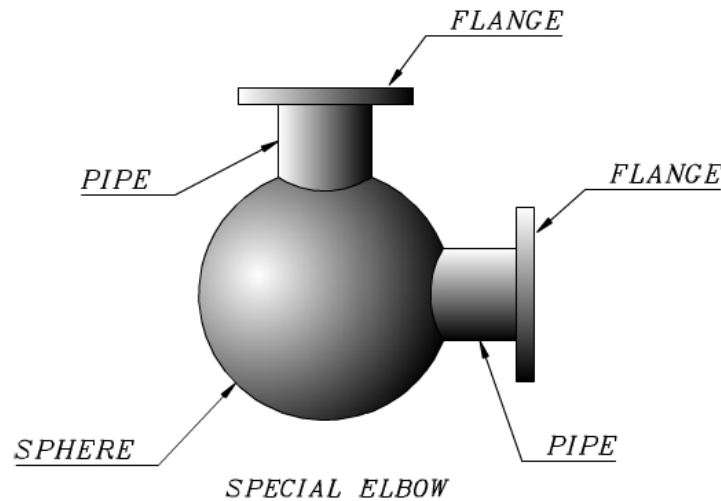
이 부분은 이미 제출한 굴곡부의 트러블과 개선사례에서 여러 개선 사례들을 이미 제시하였고 이는 실제 현장에서 많이 적용하고 굴곡부의 수명연장에 상당히 효과를 본 것으로 이중 현장의 가장 적절한 방안을 채택하여도 무방하나 근본적인 해결방안이 되지 않아 폐사에서 귀사의 이송특성을 고려하여 폐사에서 개발하여 현장 적용해 아주 만족스러운 결과를 보이고 있는 SPECIAL ELBOW 의 적용을 추천하며 그 특성은 다음과 같다

SPECIAL ELBOW (Pneucon's Ball)

PNEUMATIC CONVEYING LINE 설계시 굴곡부의 입자충돌로 인한 마모를 방지하기 위해 여러 가지 형태의 ELBOW 들을 설계하여 적용하고 있으나 첨부자료 " 굴곡부 침식 " 에서와 같이 침식의 정도에 차이는 있으나 근본적인 해결책을 제시하지 못하고 있다.

따라서 당사에서 설계하여 적용하고 있는 SPECIAL ELBOW 인 **Pneucon's Ball** 의 원리 와 적용례를 소개코자 한다.

. Spherical Elbow " Pneucon's Ball "

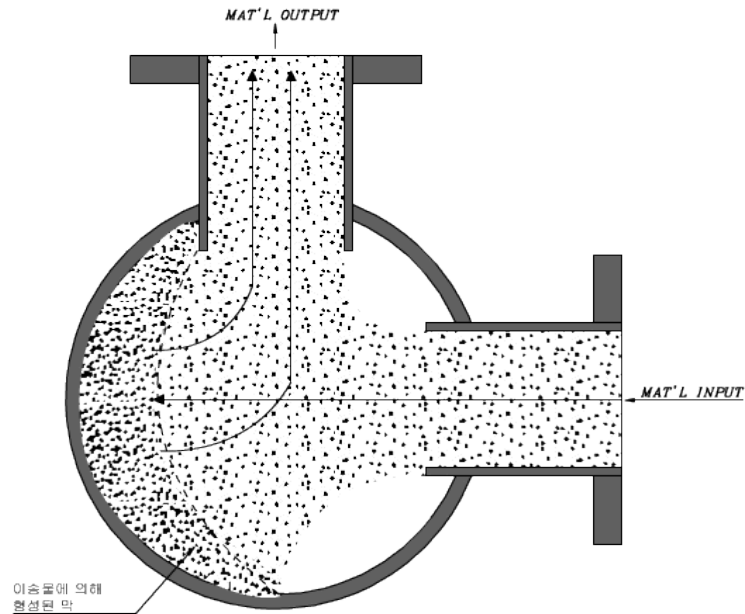


[그림 5] Pneucon's Ball 의 외부구조

PNEUCON 의 SPECIAL ELBOW 는 [그림 5]과 같은 형상으로 STPG or STPT 38S #40~80 의 PIPE 및 FLANGE 로 제작되며 구형(球型)의 CHAMBER 와 INPUT/OUTPUT NOZZLE 로 구성되며 배관설계에 따라 몇 개의 OUTPUT NOZZLE 이 추가적으로 구성될 수 있으며

이에 따라 IN/OUTPUT NOZZLE 의 각도도 90°뿐 아니라 현장의 설치조건에 따라 임의대로 변경하여 적용이 가능하며 장반경 굴곡부보다 방향전환공간이 작아 공간 활용성이 높다. 직선 관로를 따라 CHAMBER 내로 들어온 재료의 입자들이 CHAMBER 내벽에 수직으로 충

돌한 후 입자들의 막을 형성하고 뒤 따라 들어온 입자들은 형성된 이 입자 막 위를 충돌하게 되며 이 막 위를 미끄러져 방향이 전환되어 CHAMBER 밖으로 나가게 된다. 그러므로 입자들과 ELBOW 내벽간의 접촉기회가 적어 침식에 의한 마모가 극히 적게 일어난다.



[그림 6] Pneucn's Ball 의 작용원리와 내부구조

[그림 6]와 같이 구형(球型)의 CHAMBER 내에 직선 이송 관로와 플랜지로 연결될 IN/OUTPUT NOZZLE 이 삽입되어져 있고 NOZZLE PIPE 가 CHAMBER 내벽면 위로 돌출 되어있다. [그림 6]에서 와 같이 IN-PUT NOZZLE 을 통해 CHAMBER 내로 들어온 재료의 입자들이 맞은 편의 CHAMBER 내벽에 수직으로 충돌하여 재료 입자들로 막을 형성할 때, 내벽에 대한 입자들의 충돌에너지는 갑작스런 단면적의 확대로 동일한 속도로 재료가 이송되는 단반경 굴곡부나 직각 엘보우의 내벽에 대한 입자들의 충돌에너지 보다 확연하게 감소된다. 그러므로 초기 충돌에 의한 침식은 극히 적으며 무시할 수 있는 수준이다.

단면 확대에 따른 압력강하가 다소 있으나 적용할 뉴메틱 콘베이어와 이송거리, ELBOW 의 수, 증압기(Booster)의 수와 설치여부, 수집조(Receiving Hopper)의 환경 등 모든 조건들을 고려하여 적절한 이송압력 및 Booster 의 공기공급량을 설정하므로 유동상의 문제는 일어나지 않는다.

SPECIAL ELBOW 인 **Pneucn's Ball** 이 가지는 또 다른 중요한 구조적 특징은 CHAMBER 내부로 삽입되어 있는 OUTPUT NOZZLE 의 돌출부분의 길이에 따라 입자막의 두께, 입자유동 등이 영향을 받아 CHAMBER 내벽이나 OUTPUT NOZZLE 의 침식과 유동상의 문제를 일으킬 수 있다. 그러므로 이송재료의 특성들과 이송설비의 제반 조건들을 세심하게 검토한 후

에 가장 적절한 길이가 결정된다.

. SPECIAL ELBOW " Pneucon's Ball "의 적용례



[그림 7] PVC 공장의 低密度狀 가압공기 이송설비에 적용된
SPECIAL ELBOW " Pneucon's Ball " 와 증압기(booster)

[그림 7]은 PVC 공장에 설치된 LEAN PHASE PNEUMATIC CONVEYING SYSTEM (당사 모델명 : **Pneumax A-1000**)의 이송 관로에 적용된 SPECIAL ELBOW " **Pneucon's Ball** " 이다. **Pneucon's Ball** 은 저밀도 및 고밀도상의 가압공기 이송 설비들에 모두 사용 가능하며 특히 고밀도상의 이송설비에 적용할 경우 MULTI-SILO 에로의 이송에 따른 분기배관이나 관로 전환용 밸브(DIVERT VALVE)의 사용이 필요없어 설비 보전의 가장 중요한 요소중의 하나를 배제할 수 있다.

압력강하에 따른 추가적인 공기공급을 위해 증압기(Booster)를 설치할 때, 재래식 장반경 굴곡부의 경우, 증압기가 설치될 위치가 굴곡부 내벽의 재료 입자들이 충돌하는 곳의 주변이 되므로 증압기에서 공급되는 공기로 인해 이송 입자들의 유동이 편향되어 직선 관로까지 이상마모를 일으킬 수 있다. **Pneucon's Ball** 의 경우, [그림 7]에서와 같이(화살표 부분) OUTPUT NOZZLE CENTER 의 반대편에 설치하여 그러한 현상을 근본적으로 제거할 수 있다. 또한 증압기(Booster)에서 공급하는 공기는 이송원료의 관로내 방향전환을 쉽게 도와 굴곡부

의 막힘 현상을 줄일 수 있고 이로 인해 보다 낮은 압력으로 원활한 이송을 기대할 수 있다. [그림 7]의 PVC 공장의 PVC 분말 보다 월등히 높은 입자경도를 가지며 높은 침식율의 대표적인 분체인 주물공장의 주물사(SILICATE)를 이송하기 위한 DENSE PHASE PNEUMATIC CONVEYING SYSTEM 의 이송관로에 적용된 SPECIAL ELBOW " **Pneucon's Ball** "은 10년 이상 보수나 교체없이 사용되고 있다.(1 일 이송량: 평균 100~120TONS)

3) 이송관로내의 이송속도

위 문제점에서 지적한 바와 같이 이송 관로내의 속도는 이송 관로의 침식마모에 결정적인 영향을 미친다. 따라서 근본적인 해결책은 저속이송이 가능한 고밀도의 저속이송방식을 적용할 수 있는 DENSE PHASE PNEUMATIC CONVEYOR OR 폐사의 제품인 PULL PIPE CONVEYING PNEUMATIC CONVEYOR 를 적용하는 것이 가장 바람직하나 귀사의 이송특성상 BULK TRUCK 에 적재된 원료를 SILO 에 공급하는 SYSTEM 으로 BULK TRUCK 에 탑재된 BLOWER 에 의해 AIR 가 공급되어 진다. 따라서 차량에 부착된 SYSTEM 에 의한 공급으로 임의적인 조절은 곤란하나 현재 유사 LINE 의 AIR 증압기는 필요이상의 과량의 AIR 를 공급하고 있는 것으로 판단되어 지며 그 근거는 첨부 계산 SHEET 와 같다.

증압기의 AIR 의 공급 방식 및 위치의 개선으로 관로내 저항을 줄여 보다 낮은 압력에서 이송이 가능토록하고 AIR 의 공급량을 최소로 줄여 전체적인 CONSUMPTION FOR CONVEYING AIR 를 줄여 끝단부의 PRESSURE DROP 에 따른 AIR VOLUME 증가를 줄인다.