

## 쓰레기 자동집하시설 이송배관의 합류관 최적설계 연구

성 순 경, 박 준 길\*, 서 상 호\*  
가천대학교 건축설비공학과, \*숭실대학교 기계공학과

### A Study on the Optimal Design of Confluent Pipe for Waste Collection Piping System

Sun-Kyung Sung, Jun-Gil Park\*, Sang-Ho Suh\*<sup>†</sup>

Department of Building Equipment System Engineering, Gachon University, Sunghnam 461-701, Korea  
\*Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

(Received January 6, 2012; revision received March 21, 2012)

**ABSTRACT:** In the waste collection system, living waste is collected through the piping network. There are many confluent pipes in a piping network. These confluent pipes were often clogged up with waste. The optimal configuration of the confluent pipes has been defined by the design guide. However, nobody know how this design guide were determined. Therefore, in this paper, we found the design data for the confluent pipe configuration in order to avoid the waste clogging in a piping network. The distance between connected point on the confluent pipes should be longer than the previous design guide.

**Key words:** Optimal design(최적설계), Confluent pipe(합류관), Waste clogging(쓰레기 막힘), Waste collection system(쓰레기 집하설비)

### 1. 서 론

생활 수준의 향상과 주거단지의 밀집으로 각 가정에서 발생하는 생활폐기물의 발생밀도가 증가하여 이를 처리하는 과정에서 재래식 방법인 쓰레기통을 적치하고 차량을 이용하여 수작업을 통하여 정기적으로 수거하는 경우 주변 환경의 오염과 냄새 등으로 인하여 주거환경에 좋지 않은 영향을 미친다. 이를 개선하기 위하여 대단위 택지개발지구에서는 각 지자체나 SH공사, 한국토지주택공사 등이 주관하여 생활폐기물 자동집하시설을 적극적으로 건설하고 있으며, 시공 완료되어 운영 중인 지구가 점차 증가되고 있다. 쓰레기 자동집하시설의 구

성은 쓰레기 투입설비, 관로설비, 집하설비, 자동제어설비로 이루어 진다.<sup>(1)</sup>

이들 중 관로설비의 배관 내에서는 투입구를 통하여 투입된 쓰레기는 공기와 같이 유동하여 집하설비가 있는 집하장으로 이동하게 된다. 이 관로설비는 지하에 매설되고 많은 가지관들이 곡관과 합류부를 통해 연결되어 하나의 관로망을 형성하기 때문에 쓰레기가 이동 중 막힘 현상이나 과도한 배관 마모 등이 발생할 수 있게 된다.<sup>(2)</sup> 이로 인하여 기능상의 장애는 물론 운전 정지로 인한 사용상의 불편을 초래할 수 있게 된다. 특히 매설관로의 합류부가 연결된 지점에서 인접한 합류관과의 간섭으로 인하여 쓰레기의 원활한 이송이 어려워지고 막힘이 발생할 확률이 높다. 쓰레기 자동집하시설을 발주하는 토지주택공사 등의 설계지침에는 분기관이 인접하는 경우 분기점에서 6D 만큼의 거리를 유지하도록 되어 있으며 유지관리의 용이성을 위해 합류

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-820-0658; fax: +82-2-821-6758

E-mail address: suhsh@ssu.ac.kr

부가 있는 위치에는 맨홀을 설치하도록 명기되어 있다. 시공사들도 막힘을 방지하고 막힘 발생 시 유지보수를 하기 위하여 설계발주처의 설계기준을 따르고 있으나 이 설계기준에 대한 타당성은 아직 검증되지 않았다.

합류부와 합류부 또는 곡관과 합류부 사이의 이격거리는 간섭을 피하여 막힘을 예방할 수 있는 효율적인 관로망 구성을 위해 중요한 요소이다.

본 연구에서는 합류부의 설계에 대한 선행 연구결과를 기초로 하여 합류관과 합류관이 연이어 있는 경우 또는 곡관과 합류관이 이어서 구성되어 있는 경우에 대하여 수치시뮬레이션을 수행하여 입자의 거동을 분석하고 압력손실을 예측하며 막힘을 예방할 수 있고 압력손실이 최소가 되는 최적설계자료를 구하고자 한다.

**2. 합류관의 모델링 및 수치해석 방법**

합류관 모델을 결정하기 위하여 여러 가지 형상인자를 정하여야 하므로 단일 합류관 특성에 대하여는 관련기관에서 제시하고 있는 Fig. 1과 Table 1과 같은 설계인자를 적용하였다. 이를 이용하여 3가지 형태의 조합된 합류관을 구성하였고, Fig. 2와 같이 모델링하였다. Type 1은 각각 다른 방향에 있는 지관으로부터 주관에 합류될 경우의 모델이고, Type 2는

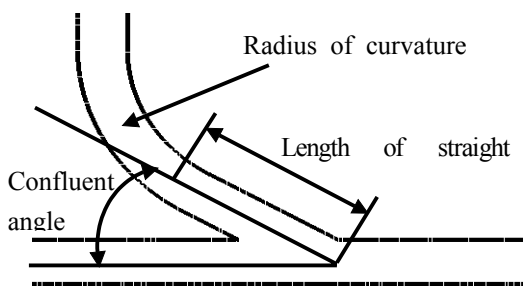


Fig. 1 Design criteria for the confluent pipe.

Table 1 Design criteria for the confluent pipe model

Classification	Optimal design data from the previous study <sup>(3)</sup>
Radius of curvature	1.8 m
Length of straight part	3D
Confluent angle	30°

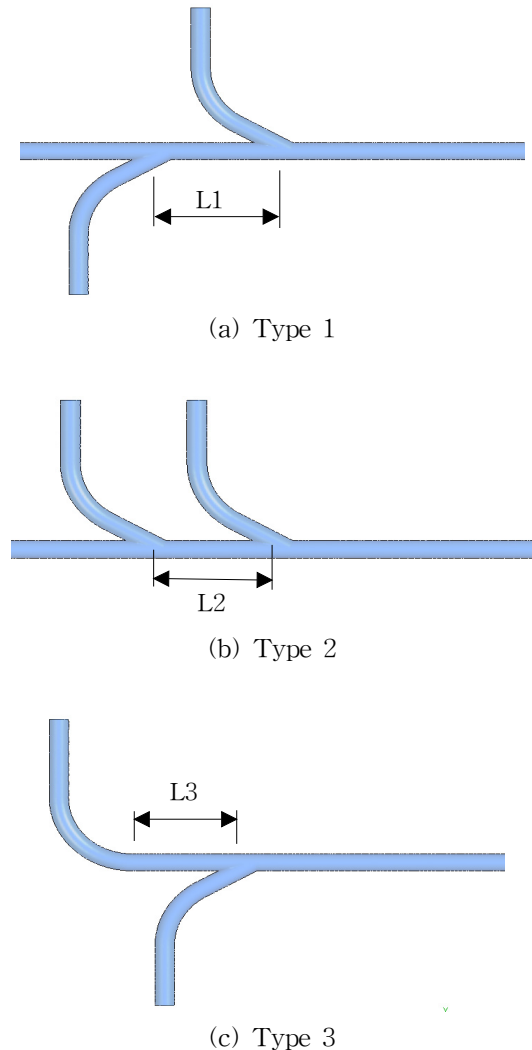


Fig. 2 Three different confluent pipe for the computer simulation.

같은 방향에 있는 두 개의 지관이 주관에 합류되는 경우의 모델이다.

Type 3은 곡관과 연결된 합류관을 모델링하였다. 각각의 모델에서 설계인자는 합류관과 합류관 사이의 거리  $L_1$ ,  $L_2$  그리고 곡관과 합류관사이의 거리  $L_3$  이다. 대상 배관의 직경은 일반적으로 많이 적용되고 있는 호칭경 500 mm이고 Sch No. 40인 것으로 내경은 478 mm를 기준으로 하였다.<sup>(4)</sup>

쓰레기 자동집하시설의 관로설비 중에서 분지관으로부터 합류되는 합류관에 대하여 합류 부분의 압력손실과 쓰레기 입자거동을 살펴보기 위하여 배관 내에서의 3차원 비압축성 난류유동에 대한 컴퓨터 시뮬레이션으로 유한체적법(FVM)을 이용하였다. 시뮬레이션에 사용된 질량보존방정식과 운동량보존방정식은 지배방정식으로 아래와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + S_M \tag{2}$$

위 식에서  $u_i$ 는 속도성분,  $p$ 는 압력,  $S_M$ 은 운동량 생성항이다. 비압축성 정상유동에 대한 연속방정식과 Reynolds Averaged Navier-Stokes 방정식 등의 비선형 방정식을 풀기 위하여 High Resolution Scheme으로 이산화하고 반복계산을 통하여 속도와 압력에 대하여 수렴하도록 하였으며, 난류모델은 k- $\epsilon$ 모델을 적용하였고, 쓰레기 입자는 공기와 함께 배관 내를 유동하도록 하였다. 수치해석을 위한 경계조건으로 입구에서는 유속과 입자조건을 주고, 출구에서는 상대압력조건을 주었다.




관로 내에서 공기의 유동속도는 현장에서 일반적으로 적용되고 있는 25 m/s이고,<sup>(5)</sup> 공기의 온도는 상온 15℃를 기준으로 하였으며, 투입되는 쓰레기의 종류, 입자 크기 그리고 크기별 분포는 생활 수준이나 발생시기, 지역 등에 따라 다양한 변수를 가지고 있으므로 이 연구에서는 쓰레기 거동에 따른 막힘이 일어날 수 있는 일반적인 현상에 대하여 알아보하고자 하여 선행 연구에서 적용된 기준을 참고하여 Table 2와 같은 조건을 기준으로 하였다.<sup>(3)</sup>

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 입자 거동 분석

관로의 직관을 통하여 유동하는 쓰레기 입자가 곡관을 거쳐 합류관으로 들어올 때 합류관 부근에서의 쓰레기 입자 움직임을 살펴보았다. Fig. 3에는 Type 1의 합류관에 대한 입자거동과 속도벡터를 제시하였다. 합류관 사이의 이격거리 L1은 위에서부터 차례로 4D, 6D, 8D이다. 속도장은 이격거리와

Table 2 Particle size and distribution ratio of waste<sup>(3)</sup>

waste particle size	diameter (mm)	distribution ratio(%)	density (kg/m <sup>3</sup> )
	50	10	844
	20	20	
	10	70	

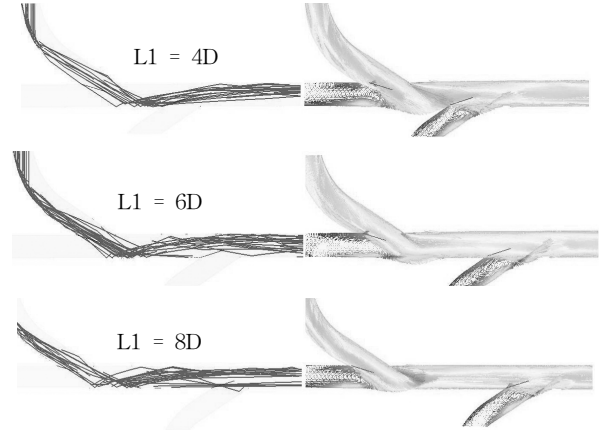


Fig. 3 Particle behaviors and velocity vectors for the confluent pipe type 1.

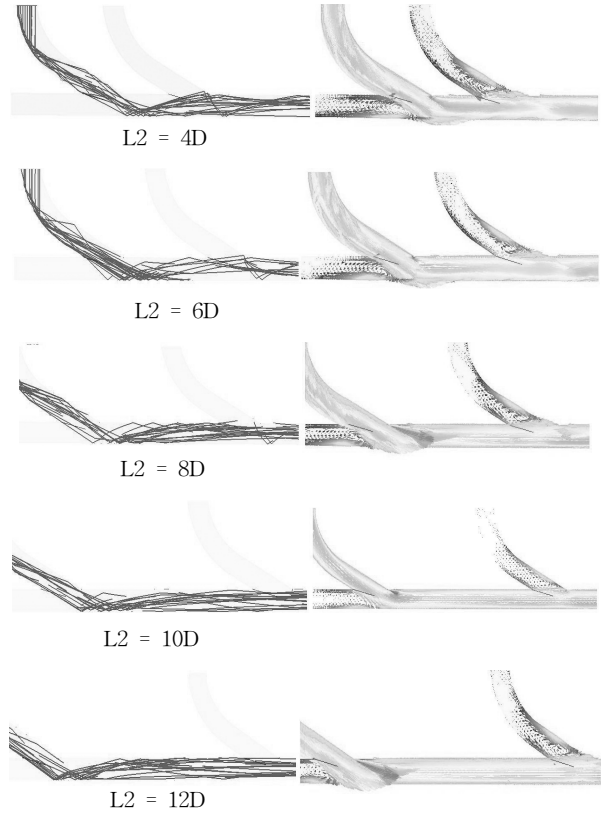


Fig. 4 Particle behaviors and velocity vectors for the confluent pipe type 2.

무관하게 유사한 양상을 보이고 있지만 입자의 거동을 살펴보면 4D일 경우에는 뒤 쪽 합류관의 곡관 부분에서 충돌과 반발을 한 쓰레기는 들어오는 방향의 반대편 직관 벽면에 심하게 충돌하고, 거동 입자의 상당량이 다음 합류관 접속지점에서 부딪히는 현상이 일어날 수 있어 연결지점에 쓰레기가 적치될 경우가 높게 일어날 수 있게 된다. 6D와 8D의

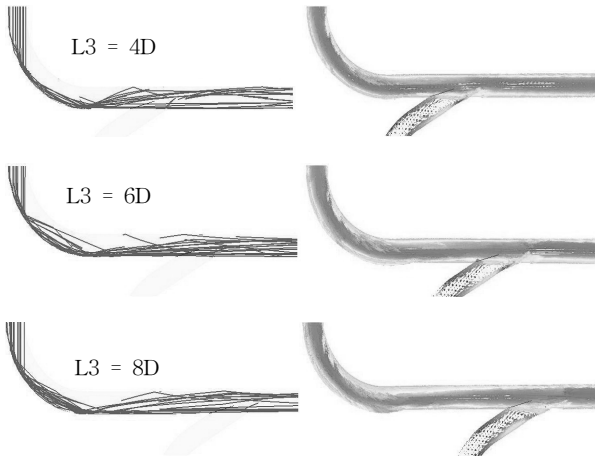


Fig. 5 Particle behaviors and velocity vectors for the confluent pipe type 3.

경우에 일부 쓰레기는 들어오는 쪽 반대편 벽면에 충돌한 후 반발하여 들어오는 쪽 벽면으로 다시 충돌하고 재 반발하여 다음 합류관 연결부 방향으로 향하는 것을 볼 수 있다. 그러므로 두 합류관이 반대 방향에서 접속되는 Type 1과 같은 경우 합류관 사이의 이격거리는 최소 10D 이상을 필요로 함을 알 수 있다.

Fig. 4에 Type 2의 합류관에서의 입자거동과 유동장을 나타내었다. 속도장의 형상은 Type 1의 경우와 유사하게 나타난다. 하지만 Type 2의 경우에는 이격거리가 4D, 6D, 8D일 경우 합류관의 곡관부를 통과한 후 다수의 쓰레기 입자가 합류관 접속 지점의 맞은 편 직관 벽면에 충돌한 후 반발하고 다음 합류관 입구 쪽으로 상당량이 충돌하는 현상을 볼 수 있다. 특히 4D와 6D인 경우에는 합류관 입구 쪽으로의 충돌이 심하게 일어나는 것을 볼 수 있다.

Type 2의 합류관에서 이격거리를 10D, 12D로 연장할 경우의 입자거동과 유동장을 살펴보면, 10D일 경우에는 5% 이하로 다음 합류관에 쓰레기 입자가 충돌하고 있고, 12D일 경우에는 충돌없이 쓰레기 입자가 잘 빠져나가는 것을 볼 수 있다. 여기에서 Type 2와 같은 합류관의 경우에는 합류관 사이의 이격거리가 10D 이상이어야 관로 상의 유동상태가 양호하게 됨을 알 수 있다. 이 경우가 합류부에서의 이격거리를 가장 길게 하여야 하는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 곡관을 통하여 쓰레기가 유입되고 합류관이 연결되어져 있을 경우인 Type 3의 합류관에서의 입자거동과 유동장을 나타내었다. 4D 만큼 이격되어 있을 경우 곡관 부분에서 충돌과 반발을 한 후 곡관 맞은 편 직관 벽면에 충돌하여 반발하고

Table 3 Comparison of the design parameter for the different confluent pipe

Types		Design criteria		Current study
		A	B	
YT-YT	Type 1	6D	8D	10D
	Type 2			10D
YT-Curved pipe Type 3			6D	6D

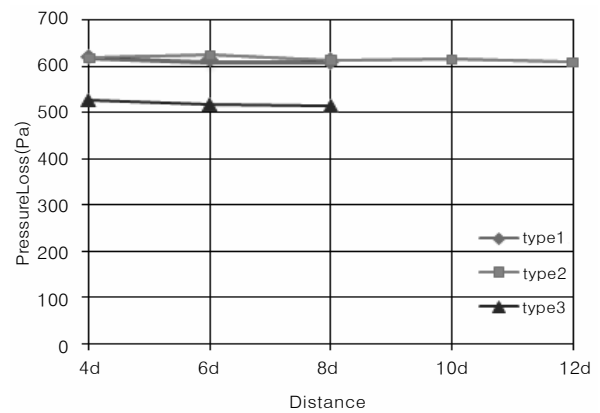


Fig. 6 Pressure losses for the different confluent pipe.

쓰레기 입자의 15% 정도 다음 합류관에 충돌하지 만 6D의 경우 약간의 입자가 충돌은 하여 큰 영향을 주지 않고 지나간다. 8D인 경우에는 곡관에서의 충돌 후 합류관의 접속부분에서는 정상적인 유동 상태를 보여주고 있다. 그러므로 Type 3인 경우 곡관과 합류관 사이에 6D 이상의 이격거리를 필요로 함을 알 수 있다.

Table 3에 기존의 A, B 설계사에서 적용하는 합류관 사이의 이격거리에 관한 자료와 본 연구결과를 비교하여 검토하였다. 표에서 나타나는 바와 같이 합류관 사이의 이격거리는 막힘 예방을 위한 중요한 설계 요소임에도 불구하고 타당성이 검증되지 않았고 각 공법사별로 각기 다른 기준을 적용하고 있음을 알 수 있었다. 하지만 합류관의 연결 위치에 따라 입자거동은 큰 차이를 보이고 있으며, Type 1과 Type 2의 경우에는 설계발주처에서 제시한 설계지침과 일치하지 않고 10D 이상의 더 많은 이격거리를 필요로 함을 알 수 있으며, Type 3의 경우에는 기존 설계기준과 일치함을 알 수 있다. Type 3보다 Type 1과 2의 경우가 막힘 확률이 높을 것으로 예상된다.

## 4.2 압력손실분석

Fig. 6에는 세 가지 합류관들에 대한 압력손실값을 나타내었다. Type 1, Type 2의 압력손실이 Type 3보다 약 100 Pa 정도 큰 것으로 나타났다. 이는 Y형 합류관이 곡관보다 압력손실이 약간 큰 것을 알 수 있다. 또한 합류관의 종류와 이격거리에 따른 압력손실의 차이는 10 Pa의 범위 이내이다. 이는 쓰레기가 동시에 양쪽으로부터 유입되는 것이 아니기 때문이기도 하며, 시물레이션의 오차를 고려할 때 의미를 찾기 어려우므로 이격거리에 따른 추가적인 압력손실의 차이는 거의 없는 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

합류관과 합류관 또는 곡관과 합류관이 연결되는 관로망에 대하여 수치시물레이션을 통하여 쓰레기 유동현상을 분석하고 이를 통하여 합류관의 이격거리에 대한 설계기준을 제시하였다.

각 Type 별로 이격거리와는 무관하게 압력손실은 큰 차이를 보이지 않았으나, 쓰레기 유동 현상은 다르게 나타나 막힘 등의 문제를 줄이기 위하여는 Type 1과 Type 2의 경우에는 기존의 설계기준보다 더 큰 10D 이상의 이격거리를 가져야 하고 Type 3의 경우에는 6D 이상의 이격거리를 갖는 것이 좋다.

본 연구결과에서 제시된 설계자료보다를 이용하여 막힘의 발생 확률을 줄이고 효율적인 관로망 구

성하는데 도움이 될 것을 기대한다.

## 참고문헌

1. Song, T. K., 2009, Pneumatic Waste Collection System, Magazine of the SAREK, Vol. 38, No. 5, pp. 4-11.
2. Jung, Y. H. and Goo, S. Y., 2007, Characteristics of Waste Feeding System and the Case of Field Application, Magazine of the SAREK, Vol. 36 No. 5, pp. 32-38.
3. Sung, S.-K. and Suh, S.-H., 2010, Optimal Piping Network Design of Pneumatic Waste Collection System, Journal of Fluid Machinery, KFMA. pp. 54-58.
4. Lee, J.-G., Choi, Y., Hong, K.-C., and Choi, Y.-D., 2009, Computational Study of Energy Loss in a Pipe of Refuse Collecting System, The Proceeding of SAREK Summer Annual Conference, pp. 421-426.
5. Jang, C.-M., Lee, S.-Y., Suh, S.-H. and Oh, Y.-T., 2006, Analysis of Internal Flow Characteristics in a Circular Pipe of Waste Collection Piping System Using Numerical Simulation, The Proceedings of The Fourth National Congress on Fluids Engineering, Kyungju, Korea.