

자동차 조립 공장의 검차라인 환기 방안

김태형 · 하현철[‡] · 박승철 · 김종철

창원대학교 환경공학과

Ventilation Strategy for Final Test Line in Automobile Assembly Factory

Tae-Hyeung Kim · Hyun-Chul Ha[‡] · Seung-Chul Park · Jong-chul Kim

Department of Environmental Engineering, Changwon National University

Pit ventilation system in the final test line of automobile assembly factory has been thought to be a realistic alternative for improving ventilation efficiency of exhaust gas. Pit ventilation could give not only high ventilation efficiency but also the formation of uniform face velocity in longitudinal direction. Cylindrical hood and slot hood could be installed in the final test line because these types of hoods might be the most effective hoods to be considered. However, the ventilation efficiencies of them were not proved yet. In this study, the ventilation efficiencies of both hoods were thus numerically and experimentally tested. The tracer gas method was used along with mock-up of hoods to experimentally verify the ventilation efficiency. Subsequently,

computational fluid dynamics (CFD) technique was applied to numerically test the efficiency. A commercially available CFD software, AIRPAK(Ver. 2.0), was used for numerical modeling. Various slot widths and flow rates were tested. The results showed that the slot hood was superior to cylindrical one in the ventilation efficiency as expected. The reason is that the face of the slot hood is closer to the exhaust pipe than that of the cylindrical one. In addition, the slot hood is the continuous type in longitudinal direction. On the other hand, the cylindrical hood is discontinuous, thus almost no control of exhaust gas in between the hood faces.

Key Words :

I. 서 론

자동차 검차라인은 조립이 끝난 차량에 대해서 앞바퀴 정력검사, 속도계 정도 검사, 전조등 검사, 제동력 검사, 주행성능 검사, 배출가스 검사, 수밀 검사 및 외관 검사 등의 테스트를 실시하는 최종 검사

공정이다. 검차라인은 좁은 공간에 많은 차량이 시동을 켜고 있기 때문에 자동차 배출가스에 의한 오염이 발생한다. 또한, 조립된 후 최초 시동을 걸기 때문에 엔진이나 연소 계통에 묻어 있던 오일 등이 타면서 발생하는 악취 등에 의해 작업환경이 악화되는 경우가 많다.

일반적으로 자동차 배출가스 허용기준 항목에는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 질소산화물(NO_x), 탄화수소류(HC) 그리고 경유 자동차에는 추가로 입자상물질(매연) 등이 포함되어 있지만(국립환경연구원, 2000) 실제 발생하는 물질은 각종 휘발성 유기화합물, 황산화물(SO_x), 황화수소(H₂S) 등 이보다 다양한 것으로 알려져 있다(손희봉 등, 1998 ; 박병운 등, 1997). 이러한 자동차 배출가스가 인체에 미치는 영향으로는 호흡기 질환, 두통 및

접수일 : 2003년 1월 6일, 채택일 : 2004년 4월 9일

[‡] 교신저자 : 하현철 (경남 창원시 사림동 창원대학교 환경공학과

Tel : 055-279-7945, E-mail : cfdace@hanmail.net)

현기증 유발, 코와 눈 자극, 신경질환 등이 있다(김희강 등, 1997).

검차라인이나 지하 주차장 등과 같이 옥내에서 자동차 배출가스가 발생될 경우에는 작업자 및 운전자의 건강보호를 위해서 효율적인 환기 시스템의 설치가 반드시 필요하다. 주차 부지 확보의 어려움 때문에 최근에 많이 설치되고 있는 지하 주차장의 오염문제가 대두되면서, 자동차 배출가스에 의한 지하주차장 오염도를 평가한 연구는 많이 수행되었다(Chow et al., 1995 ; Chow et al., 1996 ; Ho et al., 2004 ; 이현주 등, 2000). 또, 효율적인 지하주차장 환기 방안 수립에 관한 연구도 진행 중에 있으며 특히, 제트팬 등을 이용한 환기 방안(송규석 등, 1999 ; 문정환 등, 2000 ; 김경환 등, 2001)에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있고 실제 현장에 설치하여 좋은 효과를 거두고 있다.

하지만, 자동차 조립공장의 검차라인에 적용할 수 있는 환기방안에 대해서는 체계적인 연구가 거의 없어, 자동차 제작 회사별로 조금씩 다른 환기 방법을 취하고 있는 실정이다. 초기 검차라인에서는 환기 효율이 거의 없는 캐노피 후드나 측방형 후드를 설치하는 경우가 많았지만, 많은 시행착오 끝에 현재는 대부분 검차라인에서 자동차 배기 파이프와 가까운 바닥 면에서 환기를 시키는 “Pit 환기” 방법을 택하고 있다. Pit 환기방법은 작업에 불편을 주지 않고 기존의 환기 방법에 비해 자동차 배출가스를 효율적으로 배기시킬 수 있는 장점이 있는 반면, Pit 길이 방향 전체에 균일류를 형성시키지 못하면 송풍기 가까운 곳만 배기되고 송풍기에서 먼 곳은 배기량이 부족해 배출가스 제어 효율이 거의 없는 단점이 있다.

Pit 길이방향의 균일류 형성을 위해 현장에서는 “원통형 후드”를 개발하여 많은 자동차 조립공장에 설치하고 있는 추세이다. 원통형 후드의 가장 큰 장점은 길이가 아주 긴 Pit에서도 균일류를 형성할 수 있다는 것이지만, 후드 구조가 복잡하고 실제 현장에서 개별 후드를 조정하여 Pit 전체에 균일류를 형성하는 것이 쉽지 않은 것으로 나타났다. 또, 후드 구조적인 문제

로 인해 자동차 배출가스를 효율적으로 배기시키지 못하는 것으로 평가되고 있다.

본 연구에서는 균일류 형성 능력은 높지만 자동차 배출가스 효율이 낮은 원통형 후드의 대안으로 “슬롯 후드”를 자동차 검차라인에 적용할 수 있는 새로운 환기방안으로 제안하고자 한다.

또, Pit 환기 특성상 후드 위치가 바닥 면에 위치하고 있기 때문에 공장 바닥에 있던 이물질이 후드로 유입되기 쉽다. 이러한 문제를 해결하기 위해 후드 입구에 다공판을 설치하는데, 다공판에서 높은 기류소음이 발생되어 작업장 소음도를 증가시키고 있지만 그에 대한 대책 수립이 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 전산유체역학과 후드 모형 실험을 통해 원통형 후드와 슬롯 후드의 오염물질 제어 능력 및 균일류 형성 능력을 평가해 본 후, 자동차 검차라인에 적합한 후드 형태 및 배기유량을 산정하고자 한다. 또, 실험을 통해 소음도 증가 없이 이물질 유입을 방지할 수 있는 적절한 재질을 선정하여, 자동차 조립공장의 검차라인에 적용할 수 있는 실질적인 환기 방안을 수립하고자 한다.

II. 검차라인 Pit 환기시 고려사항

1. 검차라인 Lay-out

본 연구가 수행된 검차라인의 Lay-out은 Figure 1과 같다. 검차 공정은 검차대기공정(Waiting)을 시작으로 Lay-out 순서대로 진행되는데, 수밀아웃(Water-tight Test)라인까지가 주 검차라인(Main test line)이고, 수리장(Repair Zone)은 주 검차라인에서 불합격한 차량을 수리한 후 주 검차라인으로 되돌려 보내는 곳이다. 주 검차라인에서는 검사를 위해 이동할 경우에만 차량 시동을 켜고 검사 중일 때는 대부분의 차량이 시동을 끄기 때문에, 차량 한 대가 발생시키는 오염물질의 양은 많지 않지만, 좁은 공간에 많은 대수를 검사

하기 때문에 자동차 배출가스에 의한 작업환경 오염문제가 발생하고 있다. 또, 주행 상태를 시뮬레이션하는 Roll&Break 검사장에서는 차량시동을 켜고 가속패달을 밟기 때문에 많은 양의 오염물질과 소음이 발생하는 공정이지만 대부분 밀폐룸으로 설치하고 있어 외부작업장에는 큰 영향을 미치지 않는다. 수리장에서도 파트별 수리 구역으로 이동할 때 시동을 켜고, 수리중일 때는 시동을 끄기 때문에 오염물질 발생량은 많지 않다. 주 검차라인에서는 차량이 공정에 따라 일정하게 움직이기 때문에 차량 이동 경로에 따른 덕트라인 설치가 쉽지만, 수리장에서는 각 파트별 수리 구역으로 불규칙하게 이동을 하기 때문에 차량 이동 경로에 따른 덕트라인 설치가 불가능하다.

2. Pit 환기시설의 제한점 및 요구조건

1) Pit 폭과 깊이의 제한

검차라인에서 발생하는 자동차 배출가스를 환기시키기 위해서는 배기파이프와 가까운 바닥 면에 Pit를 파고 환기시키는 것이 가장 효율적인 방법이지만, Pit의 폭을 차량 좌우 타이어 폭보다 넓게 할 수 없다. Pit 폭이 차량 좌우 타이어 폭보다 넓을 경우에 차량 무게에 의한 안전 문제 뿐만 아니라 타이어가 Pit 상부에 설치된 철망(Grating)을 지날 때 소음이 발생된다. 따라서, Pit폭은 차량 타이어 폭 이내로 설치하는 것이 일반적이다. 또, Pit 깊이도 설치비용과 지표수 유입 등을 고려할 때 2m 이내로 제한되는 것이 일반적이라고 할 수 있다.

2) 자동차 배기파이프에 따른 환기

자동차 배기파이프 위치는 차량 종류에 따라 다르지만, 같은 차종이라도 대수와 수출용에 따라 배기파이프 위치가 오른쪽 또는 왼쪽(혹은 양쪽)에 설치될 수도 있다. 따라서, Pit를 파고 바닥에서 배출가스를 환기시킬 때는 차량 배기파이프 위치에 상관없이 효율적으로 배기시킬 수 있도록 Pit와 후드 모양을 결정해야 한다.

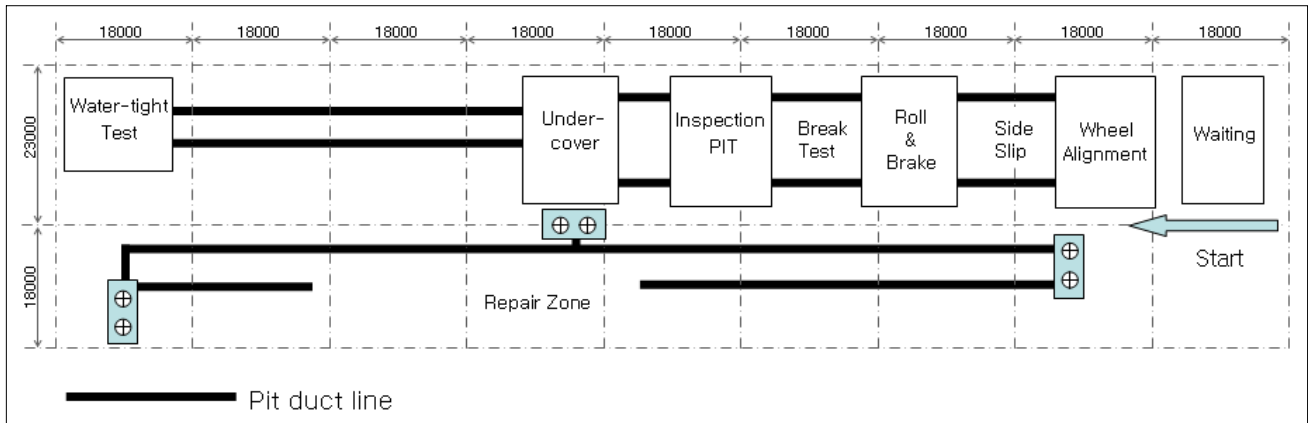


Fig. 1. Lay-out of test line

3) Pit 덕트라인 균일류 형성

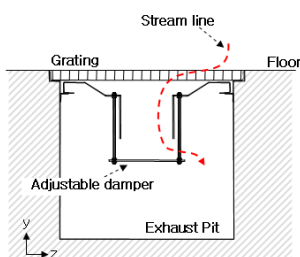
Figure 1에서 알 수 있듯이, 검차대기~ Under Cover까지 Pit 길이는 10m 이내지만, Under Cover~수밀 아웃까지는 약 40m이고 수정장의 Pit 길이는 50m가 넘는다. Pit라인의 길이가 길면 송풍기 입구 쪽에만 유량이 집중되고 송풍기에서 멀리 떨어져 있는 곳은 배기가 안될 가능성이 높다. 따라서 효율적인 Pit 환기를 위해서는 길게 설치된 Pit 전체에 균일하게 유량을 분배하여 균일류를 형성시킬 수 있는 능력이 요구된다.

III. 검차라인 Pit 환기 모델

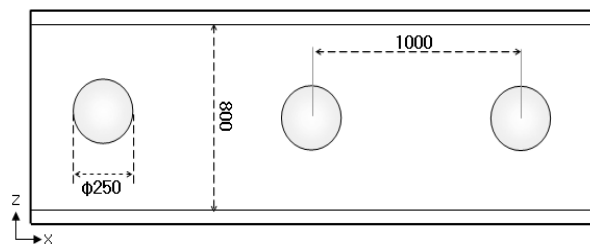
1. 원통형 후드

Figure 2는 원통형 후드의 모습을 그림으로 나타낸 것이다. Figure 2(a)는 원통형 후드 단면을 나타낸 것으로 Pit 덕트 중앙에 250mm 직경의 구멍을 뚫어 배출가스를 배기 시키는 방법으로, 댐퍼(Adjustable damper)에 의해 유량 조절이 가능하도록 되어 있다. Figure 2(b)와 같이 슬롯 후드 설치 간격은 약 1m이고, Figure

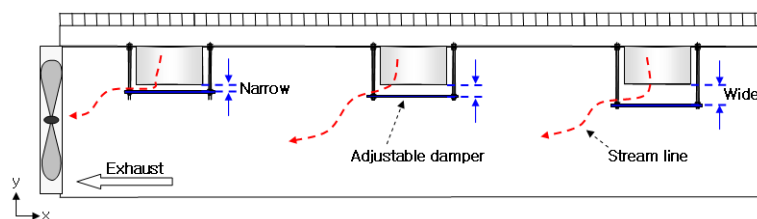
2(c)와 같이 댐퍼 간격을 적절하게 조절하여 원통형 후드의 길이방향의 유량 분배가 이루어질 수 있도록 한다. 이와 같이 댐퍼 간격을 송풍기 가까운 곳은 좁게 먼 곳은 넓게 조절하면 Pit 덕트가 충만실(Plenum chamber)역할을 하기 때문에 전체적으로 균일류를 형성시킬 수 있다. 원통형 후드의 가장 큰 장점은 Pit 길이가 길어도 댐퍼 간격 조절에 의한 균일류 형성 능력이 뛰어나다는 것이다.



(a) Cut plane

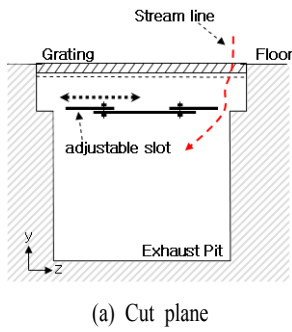


(b) Plan view

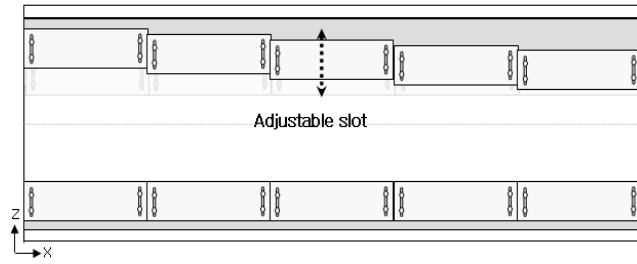


(c) Side view

Fig. 2. Schematic diagram of cylindrical hood



(a) Cut plane



(b) Plan view

Fig 3. Schematic diagram of slot hood

2. 슬롯 후드

Figure 3은 슬롯 후드의 모습을 그림으로 나타낸 것이다. Figure 3(a)는 슬롯 후드 단면을 나타낸 것으로 원통형 후드와는 달리 Pit 덕트 양 측면에 슬롯을 설치하여 자동차 배출가스를 환기시키는 방법이다. 슬롯의 균일류는 Figure 3(b)와 같이 슬롯 간격을 적절하게 조절하여 형성하게 된다. 원통형 후드의 배기파이프 위치가 Pit 덕트 중앙에 있는데 반해, 슬롯 후드의 배기파이프 위치는 Pit 덕트 가장자리에 있다. 따라서, Pit 덕트 가장자리에 위치하고 있는 차량 배기파이프에서 발생되는 배출가스를 원통형 후드보다는 슬롯 후드가 훨씬 더 가까운 위치에서 배기할 수 있는 장점이 있다.

텔 자동차에 입력하여 후드 모양에 따른 오염물질 제어 효율을 비교하였다.

#8~#10번까지는 15cm로 조절하여 균일류가 형성될 수 있도록 하였다.

(1) 원통형 후드

Figure 4는 수치해석을 위한 원통형 후드 모델을 그림으로 나타낸 것이다. 차량의 크기는 $4.5\text{m} \times 1.8\text{m} \times 1.4\text{m}$ (L×H×W)이고, 배기파이프의 위치는 실제 모델 차량의 것과 동일하게 Pit 중앙에서 60cm 왼쪽, 바닥 면에서 높이 45cm이고 25° 하향 분사되는 것으로 설정하였다. 원통형 슬롯은 직경 250mm에 1m 간격으로 설치하였고, Pit 덕트는 $10\text{m} \times 1.5\text{m} \times 0.8\text{m}$ (L×H×W) 규격으로 설치하였다. 댐퍼 간격은 #1~#3번까지는 5cm, #4~#7번까지는 10cm,

(2) 슬롯 후드

Figure 5는 수치해석을 위한 슬롯 후드 모델을 그림으로 나타낸 것이다. 모델 차량 및 Pit 덕트 규격은 Figure 4의 원통형 후드와 동일하다. 슬롯 간격은 덕트 길이 별로 조절하지 않고 5cm로 동일하게 유지하였다.

2) 균일류 형성 능력 평가를 위한 후드 규격

길이가 긴 Pit 덕트에서는 덕트 전체의 균일류 형성 능력이 무엇보다도 중요하다

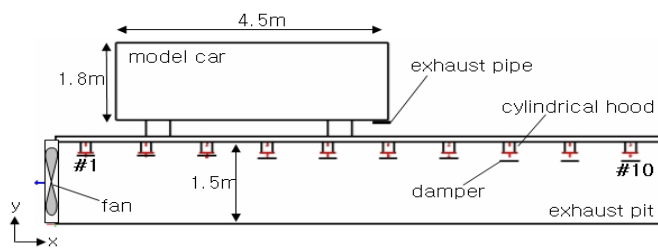
IV. 수치해석을 이용한 효율 평가

1. 수치해석 모델

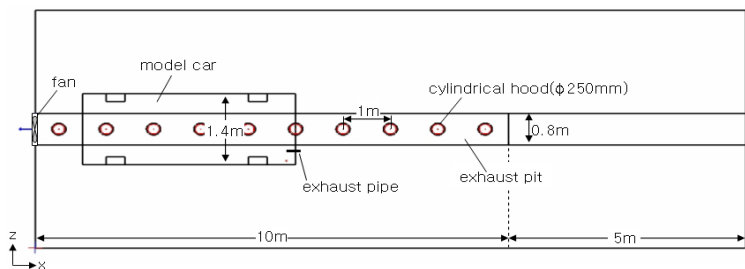
후드 형태에 따른 자동차 배출가스 제어 효율과 균일류 형성 능력을 평가하기 위해 전산유체역학(CFD: Computational Fluid Dynamics)을 이용하여 예측을 실시하였다.

1) 오염물질 제어 효율 평가를 위한 후드 규격

오염물질 제어 효율은 길이 10m인 Pit 덕트에 원통형 후드와 슬롯 후드를 설치한 후, 실제 차량에서 배출되는 배출가스의 농도, 유량 및 유속 등의 측정값을 모



(a) Side view



(b) Plan view

Fig 4. Numerical model of cylindrical hood

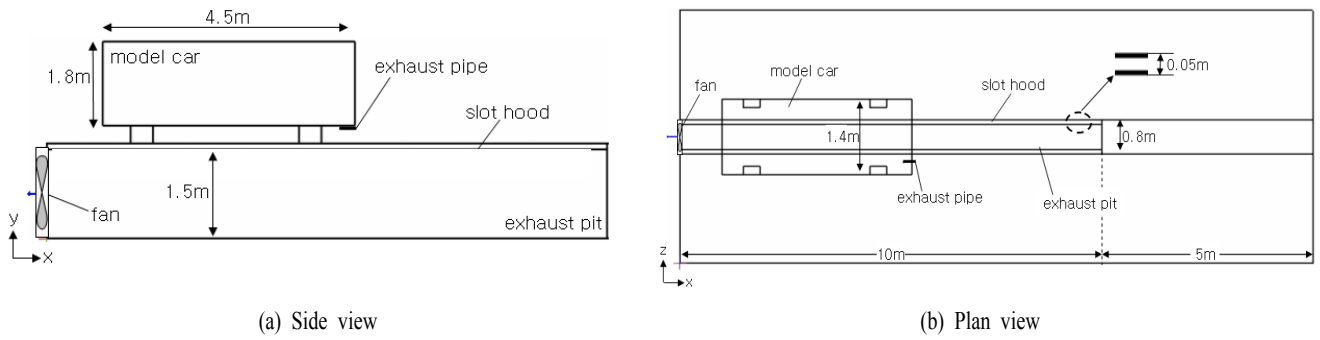


Fig 5. Numerical model of slot hood

다. 원통형 슬롯의 경우에는 현장에서 이미 길이가 긴 덕트라인에 대한 균일류 형성 능력을 검증 받았지만, 슬롯 후드에 대한 균일류 형성 능력은 검증되지 않았다. 따라서, 슬롯 후드의 슬롯 간격에 따른 균일류 형성 능력을 평가하기 위해 Figure 6과 같이 네 가지 모델에 대한 수치해석을 실시하였다. 균일류 형성 능력 평가를 위한 예측에서는 차량의 영향을 배제하기 위해 모델 차량을 포함하지 않았다. Figure 6(a)는 원통형 후드로 오염물

질 제어 효율 평가 때와 마찬가지로, 댐퍼 간격은 #1 ~ #3번까지는 5cm, #4 ~ #7번까지는 10cm, #8 ~ #10번까지는 15cm로 조절하였다. Figure 6(b)는 슬롯 후드로 역시 오염물질 제어 효율 평가 때와 같이 Pit 덕트 길이별로 슬롯 간격을 5cm로 균일하게 유지하였다. Figure 6(c)는 슬롯 후드로 송풍기와 가까운 5m까지는 슬롯 간격을 5cm로 하고, 5m 이상은 10cm로 슬롯 간격을 조절하였다. Figure 6(d)의 슬롯 후드는 2.5m 덕트 간격 별로 슬롯 간격을

2.5cm씩 증가시켰다. 따라서, 송풍기와 가까운 쪽 덕트의 슬롯 간격은 5cm, 송풍기와 가장 먼 덕트의 슬롯 간격은 12.5cm로 설정하였다.

2. 경계 조건

수치해석을 위해 필요한 차량 배기파이프 직경 및 배기가스 유량과 성분은 현장 실측치를 이용하였다. 차량 배기파이프는 직경 3cm, 배출가스는 15m/s의 유속으로

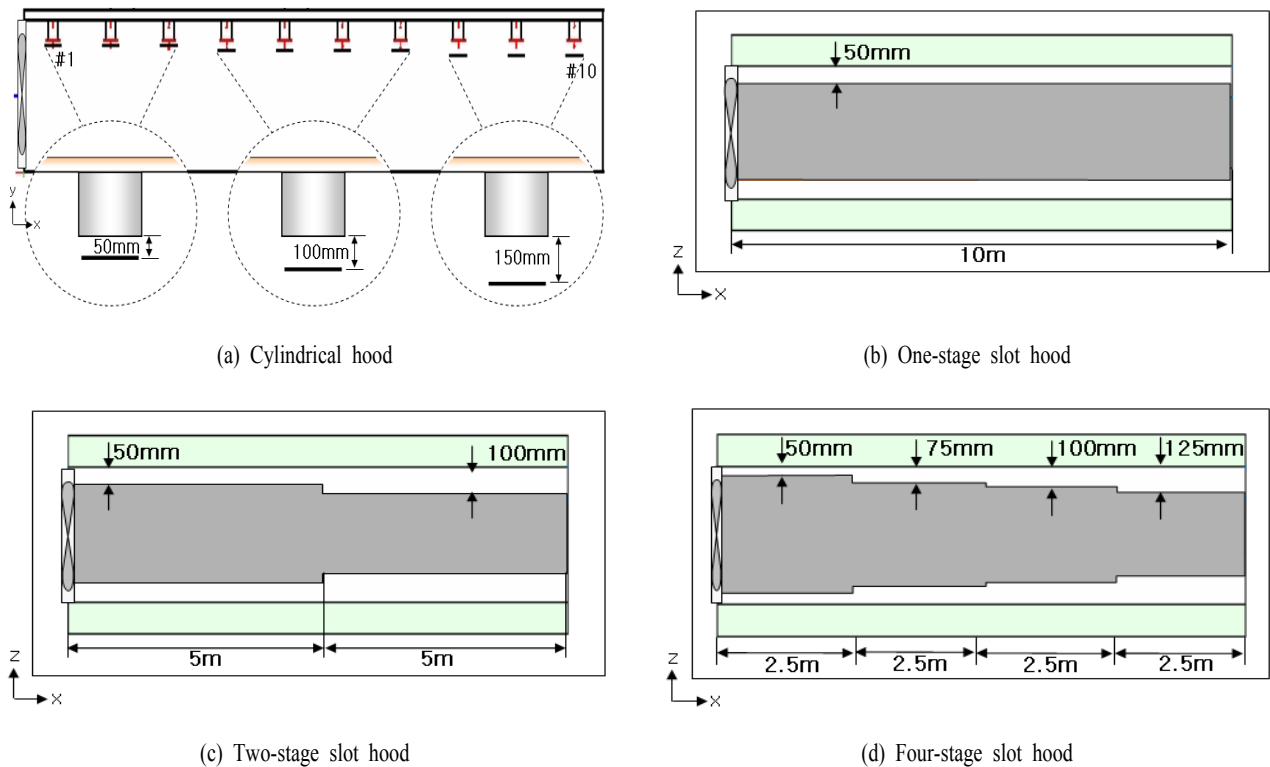


Fig 6. Numerical models for the formation of uniform flow

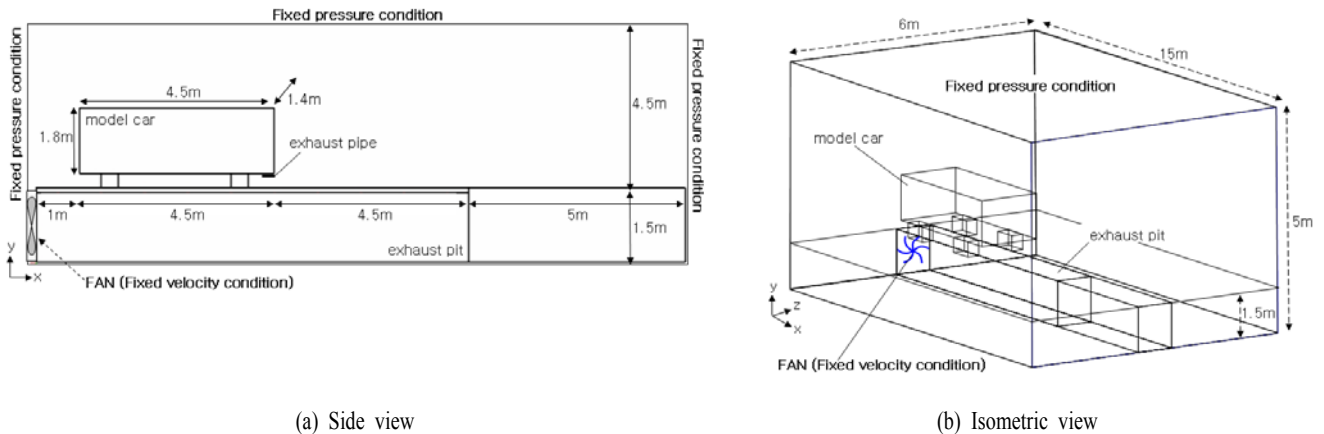


Fig 7. Boundary conditions

25° 하향 분사되는 조건으로 설정하였고, 배출 가스는 250ppm CO가스를 기준으로 하였다.

Pit덕트 배기유량은 덕트 1m 당 30CMM으로 하여 총 300CMM이 배기 되는 것으로 하였다. 본 수치해석에 사용된 경계 조건은 Figure 7과 같이 송풍기에는 속도 경계 조건(Fixed velocity condition)을 주었고, 그 외 미지의 외부 조건은 압력 경계조건(Fixed pressure condition)을 주었다.

3. 수치해석 방법

본 연구에서는 상용 소프트웨어인 AIRPAK 2.0(Fluent Inc., 2002)을 사용하였다. 난류 방정식들의 이산화 방법으로 유한 체적법(Finite-volume method)을 사용하였고, 모든 수치 해석은 상류 차분 도식(Upwind differencing scheme)을 이용하여 수행하였다. 그리고 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE(Semi-Implicit Method Pressure-Linked Equations) 알고리즘을 사용하였다. 수치해석에 필요한 기본 방정식이 비선형이므로 반복에 의한 해의 수렴이 필요하고, 반복 계산시 종속 변수들의 수렴정도를 점검하기 위하여 잉여치(Residual) R값을 체크하면서 잉여치가 10^{-3} 이하에 도달하면 수렴된 것으로 간주하였다. 계산을 위한 격자는 원통형 후

드 11만여 개, 슬롯 후드 5만여 개를 형성시켰다.

4. 환기 효율 평가 방법

오염물질 제어 효율은 바닥 면 10cm 위인 $y=1.6m$ 단면의 CO농도 분포와 덕트 내부 CO농도를 비교하였고, 차량 후면 10cm 뒤 부분인 $x=5.6m$ 단면의 등속도선 분포를 비교하여 각 후드별 환기 특성을 평가하였다. 균일류 형성 능력은 바닥 면 10cm 위 높이($y=1.6m$)에서의 등속도선으로 평가하였다.

V. 실험에 의한 효율 평가

1. 실험 장치 구성

실험에 의한 효율평가를 위한 모형실험 장치는 Figure 8과 같이 구성하였다.

모형 실험을 위해 원통형 후드와 슬롯 후드는 100CMM 유량의 풍동에 연결시켰고, 풍동은 AC 모터 controller(LG산전)를 이용하여 유량을 조절하였다. 차량 배기 파이프에 의한 배출가스 발생현상을 모사하기 위해 일산화질소(NO)가스를 주입하였다. 5000ppm의 일산화질소를 차량에서 배출되는 농도로 조절하기 위해 유량조절기(Kanomax 3323, Japan)를 설치하여 희석하였고, 농도가 조절된 가스는 25CMM

소형 팬을 이용하여 실제 차량과 같은 속도와 방향으로 분사하였다. 배출가스 분사 속도 및 후드 흡인유속을 측정하기 위해 열선풍속계(hot wire anemometer: TSI 8360, USA)를 사용하였고, 풍동 배기유량은 마노미터(KM-306, USA)와 피토투브(Pitot tube: dwyer, USA)를 이용하여 측정하였다. NO분석은 분석기 특성을 고려하여 고농도(3ppm 이상)는 배가스분석기(Greenline MK II, USA)로, 저농도(3ppm 이하)는 NOx 분석기(API 200A, USA)를 사용하여 측정하였다.

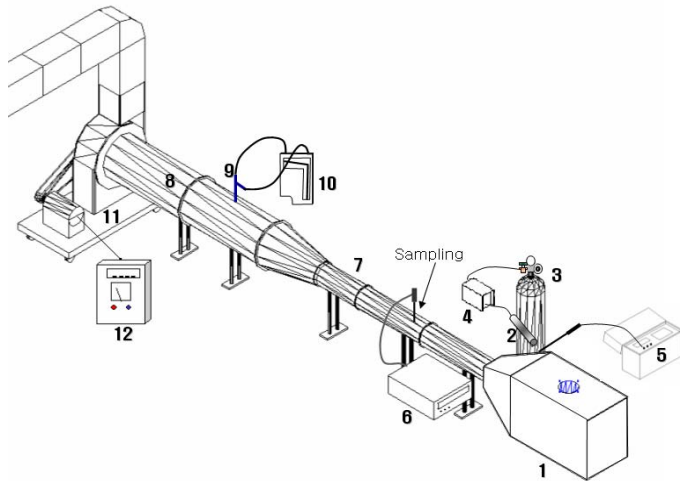
또한, 슬롯 입구에서 발생하는 소음을 측정하기 위해 정밀소음측정계(Rion NL-14, Japan)를 사용하여 슬롯 입구의 소음도를 측정하였다.

Figure 9는 모형실험을 위해 제작된 후드 모형 및 치수를 정리한 것이다. Pit 덕트의 크기는 $50cm \times 50cm \times 50cm(L \times W \times H)$ 로 되어 있고, 바닥 면을 고려하기 위해 25cm 플랜지를 Pit 덕트 양쪽에 설치하였다. 원통형 후드의 크기는 25cm이고, 슬롯 후드 개구면의 폭은 5cm씩 Pit 덕트 양쪽 가장자리에 설치하였다.

2. 실험 방법

1) 오염물질 제어 효율

모델 차량인 1톤 트럭과 동일한 조건으로 배출가스를 분사하기 위해 모델 차량의 배출가스 분사 조건을 실측하였다. 현



1. Exhaust Pit model
2. Exhaust pipe ($\phi 30\text{mm}$)
3. Gas cylinder(NO 5000ppm)
4. Flow controller and Diluter (Kanomax 3323)
5. Exhaust gas analyzer(Greenline Mk II)
6. NOx analyzer(API 200A)
7. $\phi 150\text{mm}$ duct
8. $\phi 400\text{mm}$ duct
9. Pitot-tube(dwyer)
10. Manometer(KM-306)
11. Fan(100CMM, 150mmAq, 7.5HP)
12. AC motor controller

Fig 8. Experimental set-up

장 실험 결과는 Table 1에 정리하였다. 차도는 25° 하향이였다.
 량 배기파이프 직경은 3cm이고 분사 각 Table 1의 실험 조건을 고려하여 실험

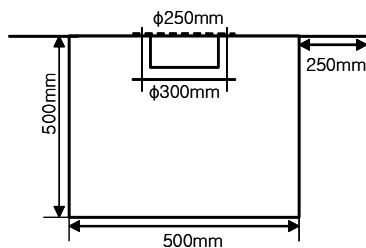
대상 가스인 일산화질소 100ppm을 모델 자동차와 같은 조건으로 분사한 후 풍동 내의 일산화질소 농도를 측정하여, 발생량(배출가스 분사량)에 따른 배기량(풍동 내 농도)으로 배기 효율을 평가하였다. 배출가스 분사 조건은 Table 2에 정리하였는데, 원통형 후드는 배기유량은 20CMM만 평가하였고 슬롯 후드는 10, 15, 20CMM까지 세 가지로 구분하였다.

2) 소음 측정

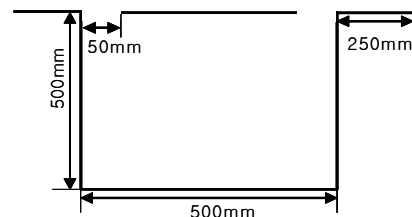
바닥에 Pit를 파고 환기시킬 경우에는 덕트 내부로 장갑이나 비닐 기타 작업 중에 발생하는 이물질 등이 유입되기 쉽다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Pit 덕트 상부에 다공판을 설치해 두는 경우가 많은데, 슬롯으로 유입되는 기류 유속이 빠르기 때문에 다공판에 의한 소음도 또한 높게 발생되고 있다. 다공판에 의한 소음도와 다공판 이외의 재질을 적용했을 때 소음도를 평가하기 위해 Figure 10과 같이 직경 0.5cm, 다공률 52%인 다공판(porous plate)과 와이어 두께 0.05cm인 철망(wire netting)을 원통형 슬롯에 설치한 후 소음도를 측정하였다. 소음도 측정을 위한 배기유량은 20CMM으로 고정하였고, 소음도는 후드 상부 50cm 위치에서 측정하였다.

Table 1. Gas exhaust conditions of model car

measurement items		measurement values
Gas concentration (ppm)	NO	109
	CO	483
	CO ₂	1,435
exhaust velocity (m/s)		12
exhaust flow rate (CMM)		0.5



(a) Cylindrical hood



(b) Slot hood

Fig 9. Hood models

Table 2. Experimental conditions

Hood type	Hood size(mm)	Exhaust flow rate (CMM)	Exhaust pipe diameter	Exhaust gas concentration
Cylindrical hood	hood diameter : $\phi 250$	20	$\phi 30\text{mm}$	NO : 100ppm
Slot hood	slot width: 100	10, 15, 20		

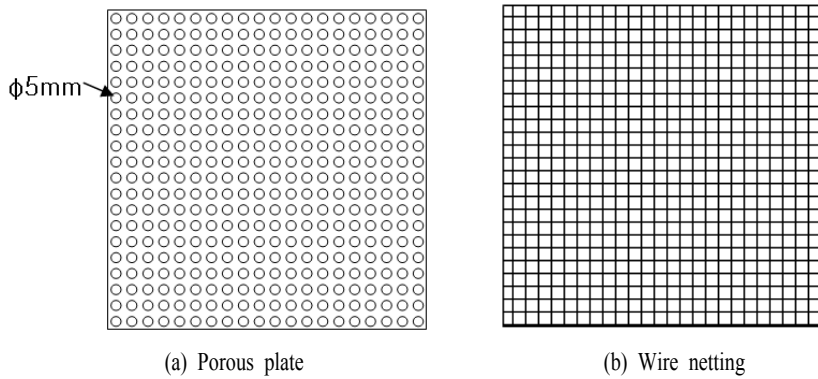
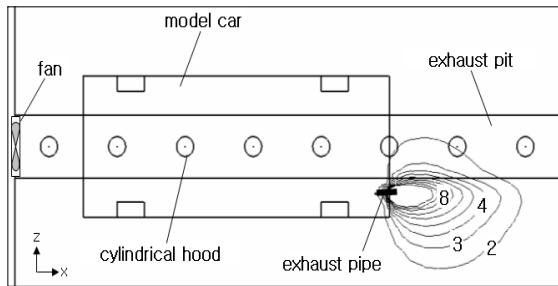
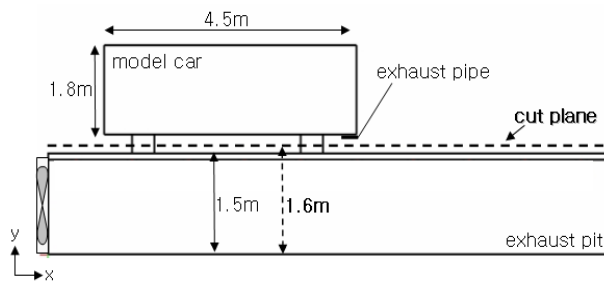
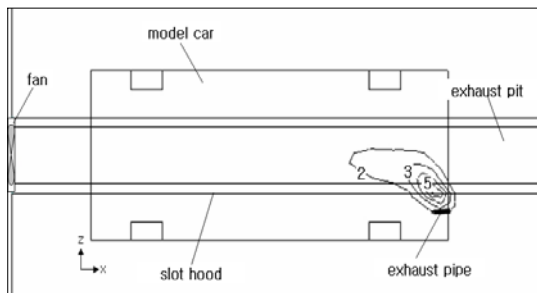


Fig 10. Plate type



(a) Cylindrical hood



(b) Slot hood

Fig 11. Distribution of CO concentration(ppm) by hood types ($y=1.6\text{m}$)

VI. 결과 및 고찰

1. 수치해석을 이용한 예측결과

1) 2염물질 제어 효율

Figure 11은 바닥 면 10cm 높이($y=1.6\text{m}$) 단면에서의 CO 가스 등농도선을 나타낸 것이다. Figure 11(a)의 원통형 후드와 (b)의 슬롯 후드의 등농도선인데, (b)에 비해서 (a)의 농도가 높고 2ppm의 농도 범위도 훨씬 넓은 것을 알 수 있다. 특히, 원통형 후드의 경우 CO가스가 슬롯 후드 영역을 벗어나서 확산되는 형상을 보이는 반면, 슬롯 후드에서는 CO가스가 대부분 슬롯 후드 영역 안쪽에 존재하는 것을 알 수 있다. 즉, 원통형 슬롯의 경우에는 CO가스가 작업장으로 확산될 가능성이 크지만, 슬롯 후드에서는 차량 배기파이프에서 발생한 가스가 대부분 후드를 통해 배출되는 것으로 나타났다.

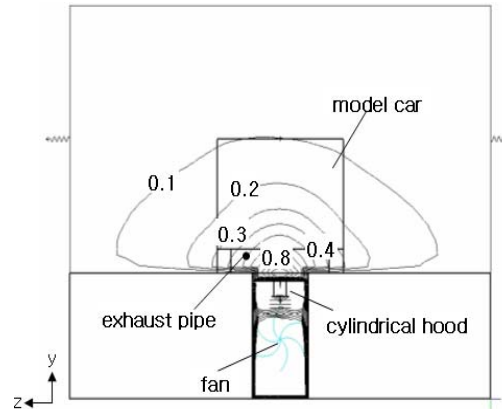
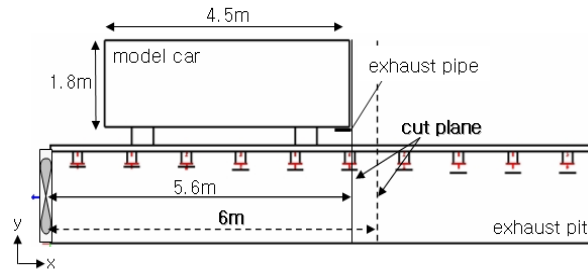
Figure 12와 Figure 13은 각각 원통형 후드와 슬롯 후드의 X 방향 단면의 등속도 분포를 나타낸 것이다. Figure 12의 (a)는 원통형 후드 개구면의 등속도 분포이고, (b)는 슬롯이 없는 곳의 등속도 분포이다. 후드 개구면의 등속도선을 살펴보면, 배기파이프가 있는 곳에서의 유속이 0.5m/s 정도를 유지하고 있다. 반면, 후드 개구면이 없는 곳의 속도는 0.3~0.4m/s 사이에 있는 것을 알 수 있다. Figure 14의 슬롯 후드의 등속도 분포를 살펴보면, 배기파이프가 있는 곳에서의 속도가 0.5~0.6m/s 인 것을 알 수 있다. 즉, 후드의 형태적인 특성상 원통형 후드보다는 슬롯 후드의 개구면 위치가 차량 배기파이프와 가깝기 때문에 같은 유량을 배기 시키더라도 원통형 후드에 비해 슬롯 후드의 제어 유속이 높게 유지되어 결과적으로, 슬롯 후드가 원통형 후드보다 배기파이프에서 배출되는 CO가스의 배기능력이 우수한 것으

로 나타났다.

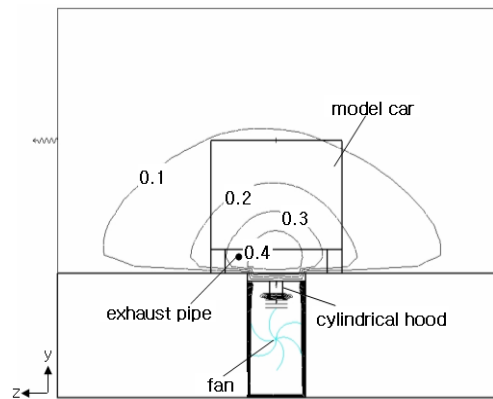
2) 균일류 형성 능력

Figure 14는 원통형 후드와 슬롯 후드의 균일류 형성 능력을 평가하기 위해 모델링을 실시한 후, 바닥 면에서 높이인 $Y=1.6\text{m}$ 단면의 등속도분포를 정리한 것이다. Figure 14(a)는 원통형 후드이고, (b)~(d)는 슬롯 폭을 달리한 슬롯 후드의 등속도 분포이다. Figure 14(a)에서 알 수 있듯이, 원통형 후드의 경우 송풍기 위치에 상관없이 전체적으로 0.25m/s 정도의 균일류가 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 하지만, 슬롯이 있는 곳의 유속은 0.5m/s 이상으로 높은 유속이 유지되지만, 슬롯과 슬롯 사이에는 $0.25 \sim 0.5\text{m/s}$ 정도의 유속이 유지된다. 즉, 송풍기 위치에 상관없이 슬롯 개구면 유속은 전체적으로 균일하게 유지할 수 있는 장점이 있지만, 슬롯 주변과 슬롯이 없는 곳의 속도편차가 큰 단점이 있다. 이와 같은 이유 때문에 Figure 12와 같이 슬롯 유무에 따른 속도편차가 심하게 발생하였다. (b)는 슬롯 후드의 슬롯 폭을 5cm 로 고정했을 때 등속도 분포인데, 송풍기와 가까운 곳의 슬롯 개구면에서는 2m/s 이상의 고속이 유지되지만, 슬롯에서 멀리 떨어진 곳에 개구면 유속은 0.75m/s 정도로 유지되었다. 즉, 송풍기 가까운 곳과 먼 곳의 속도비가 2배 이상 편차가 있어 충분한 균일류를 형성할 수 없는 것으로 나타났다. (c)는 덕트 5m 까지는 슬롯 폭을 5cm 로 하고, $5 \sim 10\text{m}$ 까지는 슬롯 폭을 10cm 로 조정한 슬롯 후드의 등속도 분포이다. (c)에서 살펴보면, 송풍기 가까운 곳의 속도가 2m/s 정도이고, 송풍기에서 가장 먼 10m 지점의 속도가 1m/s 이상 유지되기 때문에 어느 정도 균일류를 형성할 수 있는 것으로 나타났다. (d)는 슬롯 폭을 $0.25 \sim 10\text{cm}$ 까지 4단계로 변화시켰을 때 슬롯 후드가 등속도 분포를 나타낸 것으로, 송풍기 가까운 곳의 유속이 2m/s 이고 송풍기에서 가장 먼 10m 지점의 유속도 1.75m/s 로 유지되어, 충분한 균일류를 형성하고 있는 것을 알 수 있다.

Figure 14의 균일류 형성 능력 예측 결



(a) Hood section($x=5.6\text{m}$)



(b) No hood section($x=6\text{m}$)

Fig 12. Distribution of velocity(m/s) contour in the cylindrical hood

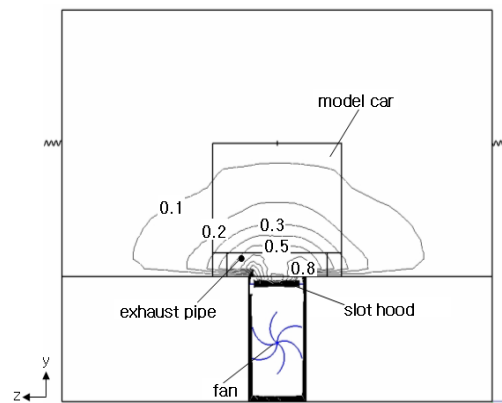


Fig 13. Distribution of velocity(m/s) contour in the slot hood ($x=5.6\text{m}$)

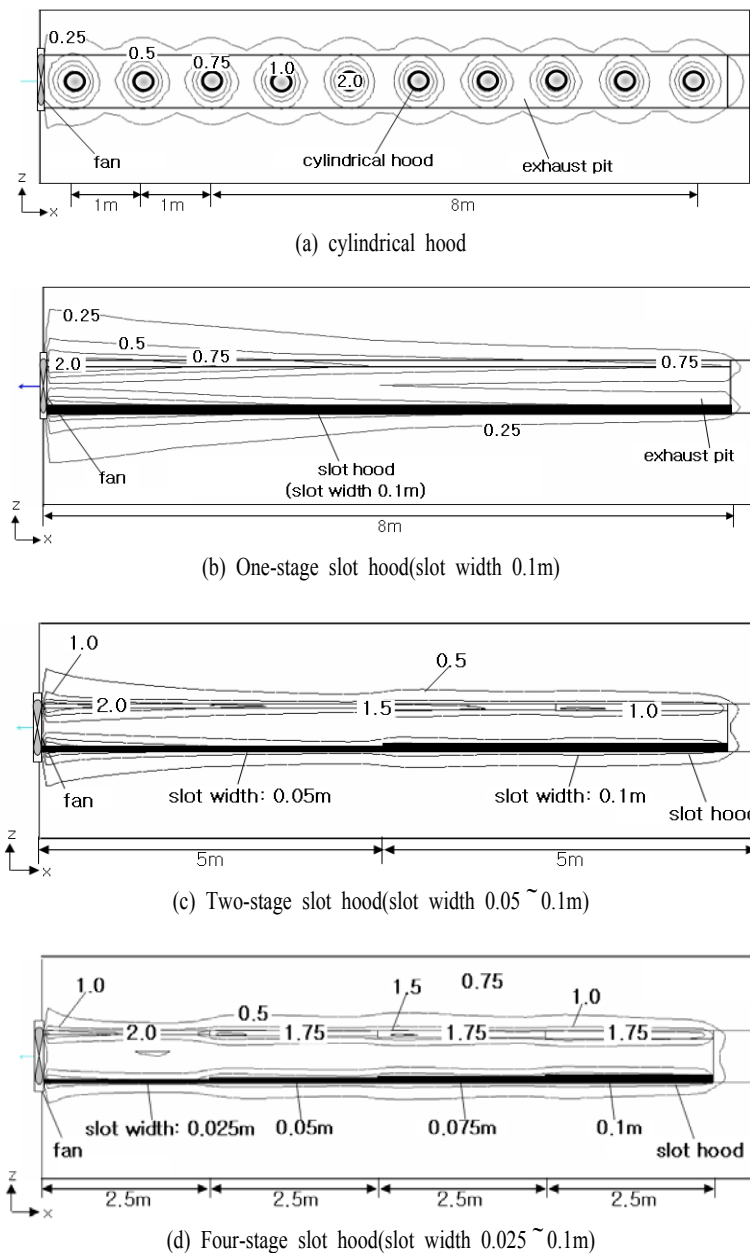


Fig 14. Distribution of velocity contours by hood type and slot width(y=1.6m)

과, 원통형 후드의 균일류 형성 능력이 슬롯 후드보다는 뛰어나다는 것을 알 수 있다. 하지만, 슬롯 후드도 슬롯 폭을 적절하게 조절하면 충분한 균일류를 형성할 수 있는 것을 알 수 있다.

2. 실험 결과

1) 오염물질 제어 효율

Figure 15는 원통형 후드와 슬롯 후드의 오염물질 제어 능력을 평가하기 위해 실

시한 실험 결과를 정리한 것이다. 배기유량 20CMM일 때 원통형 후드의 제어 효율은 57%인데 반해, 슬롯 후드의 오염물질 제어 효율은 80%로 매우 높게 나타났다. 또, 슬롯 후드의 배기유량을 10CMM으로 줄였을 때 배기 효율이 59%로 20CMM으로 배기시킨 원형 슬롯 후드보다 오염물질 제어 효율이 높게 나타났다. 슬롯 후드의 경우 배기유량을 15CMM과 20CMM으로 변화시켜도 환기 효율에 큰 차이는 없는 것으로 측정되었다. 이와 같

은 결과로 볼 때 슬롯 후드로 자동차 배기 파이프에서 발생하는 오염물질을 제어하기 위해서는 15CMM이 가장 적합한 것으로 나타났다. 본 실험에서는 Pit 덕트 길이가 0.5m이기 때문에 실제 설계시에는 30CMM/m로 슬롯 후드를 설계하면 자동차 배기파이프에서 발생하는 오염물질을 충분히 제어할 수 있을 것으로 판단된다. 실험에서 나타난 것과 같이 원통형 후드의 오염물질 제어 효율이 슬롯 후드보다 낮은 이유는 Figure 13과 Figure 14에서 설명한 것과 같이, 슬롯 후드의 개구면이 자동차 배기파이프에 가까이 위치하고 있기 때문이다.

2) 소음 측정 결과

Figure 16은 원통형 슬롯 상부에 다공판과 철망 그리고 아무것도 설치하지 않았을 때 발생하는 소음도를 측정한 결과이다.

Figure 16에서 알 수 있듯이, 다공판의 경우 소음도가 92dB(A)를 초과하는 것으로 나타났다. 하지만, 철망과 아무것도 설치하지 않은 경우에는 83dB(A) 정도로 측정되어, 다공판에 의한 소음도 증가가 무려 9dB(A)이나 된다는 것을 알 수 있다.

Pit 덕트에서 다공판은 단순히 이물질 유입을 방지하는 목적이고, 다공판 위에 강도가 높은 쇠격자망(Grating)을 설치하기 때문에 튼튼한 재질로 설치할 필요는 없다. 따라서, 두께가 굵은 철망을 Pit 덕트 상부에 설치하면, 소음증가 및 압력손실에 의한 추가적인 에너지 손실 없이 이물질 유입을 방지할 수 있는 것으로 판단된다.

VII. 결 론

원통형 후드와 슬롯 후드에 대한 오염물질 제어 효율 및 균일류 형성 능력을 전산유체역학과 실험을 통해 평가하였고, 그 결과는 다음과 같다.

1. 오염물질 제어 효율은 슬롯 후드가 뛰어나고, 균일류 형성 능력은 원통형 후드가 뛰어난 것으로 평가되었다. 따라서,

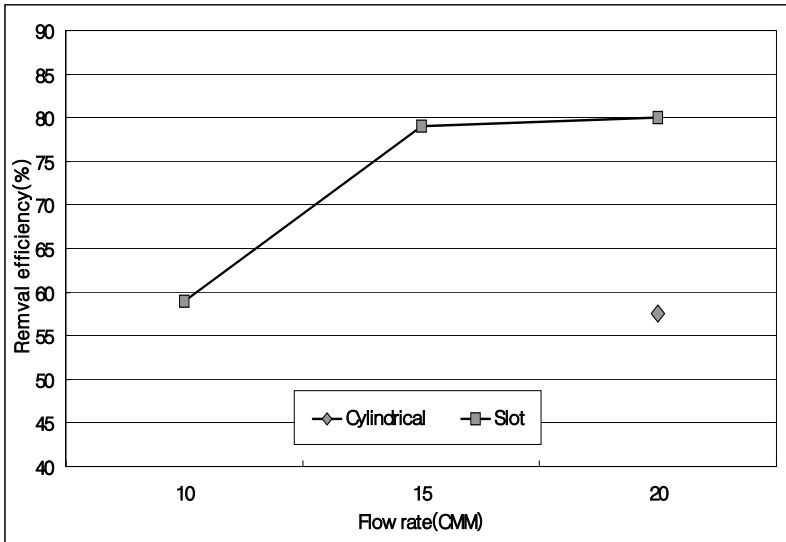


Fig 15. Removal efficiency by hood type

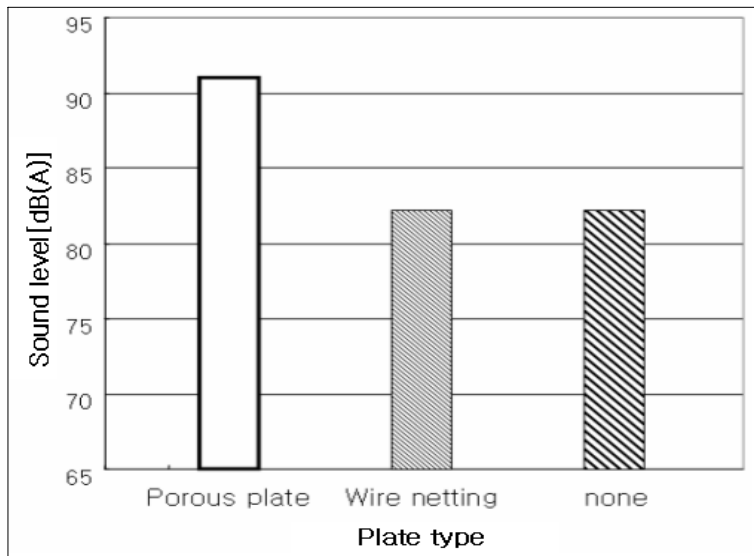


Fig 16. Sound level by plate type

자동차 배기파이프에서 다량의 오염물질이 발생되고 덕트 길이가 10m 이내로 짧은 주 검차라인(검차대기~Under cover)에는 오염물질 제어 효율이 뛰어난 슬롯 후드를 설치하는 것이 타당하였다.

2. 차량이 불규칙적으로 움직이는 수리장은 차량 배기파이프에서 발생하는 오염물질을 후드에서 바로 배기시킬 수 없기 때문에 전체환기 개념으로 환기를 실시해야 한다. 또, 40m 이상의 긴 덕트라인 전체에 균일류를 형성시킬 수 있는 능력도 있어야 하므로, Under cover이후부터 수리

장까지는 원통형 후드를 설치하는 것이 효율적이다.

3. 자동차 배기파이프에서 발생하는 오염물질의 효율적으로 제어하고, 송풍기 용량에 의한 에너지 비용 등을 고려할 때 Pit 1m 당 30CMM의 배기용량이 적당하였다.

4. Pit 덕트 내부로 이물질이 유입되는 것을 방지하기 위해 설치되는 재질에 의한 소음도 증가를 측정한 결과, 다공판은 9dB(A)이상의 소음도를 증가시키지만 철망은 소음도를 증가시키지 않았다. 따라

서, 앞으로 Pit 덕트 상부에 이물질 유입방지를 위해서는 다공판보다는 철망을 설치하는 것이 소음도 증가 방지뿐만 아니라 불필요한 정압 손실 등을 고려할 때 바람직한 것으로 나타났다.

REFERENCES

- 김경환, 김종필, 문정환, 오명도, 유준 등. 하향 경사급기 지하주차장의 환기설비 성능에 관한 제트팬 공기혼합의 효과. 대한설비공학회 2001동계학술발표회 논문집. 2001;p. 587-593
- 문정환, 김경환, 김종필, 오명도, 이재현 등. 제트팬 환기방식 지하주차장의 공기교환 효율. 대한설비공학회 2000 하계학술발표대회 논문집. 2000;p. 1158-1165
- 박병윤, 손장열, 함흥돈. 전용 지하주차장의 공기환경 평가 및 CO가스농도의 예측. 한국생활환경학회지 제4권 제3호 1977;p.73-78
- 이현주, 송희봉, 이종영, 정재열, 홍성철. 대구시 공중이용시설 지하주차장의 총부유분진, 호흡성분진 및 중금속 농도. 한국환경위생학회지 제26권 제2호 2000;p.99.22-29
- 송규석, 김종필, 류준, 오명도, 이재현 등. 환기시스템 방식에 따른 지하주차장의 환기효율. 대한설비공학회 1999동계학술발표대회 논문집. 1999;p.355-363
- 송희봉, 권택규, 백성옥, 홍성희. 대구지역 대규모 지하주차장의 실내공기질 특성평가. 대한환경공학회지 제20권 제9호 1998;p.1315-1330
- J.C. Ho, H. Xue, K.L. Tay. A field study on determination of carbon monoxide level and thermal environment in an underground car part. Building and environment 2004;39:67-75
- W.K. Chow, W.Y. Fung. Survey on the indoor environment of enclosed car parks in Hong Kong. Tunnelling and Underground Space Technology 1995;

- 10(2):247-255
W.K. Chow, L.T. Wong, W.Y. Fung. Field study on the indoor thermal environment and carbon monoxide levels in a large underground car park. Tunnelling and Underground Space Technology 1996;11(3):333-255
- 김희강, 김동술, 김신도, 김윤신, 나진균 등. 대기오염개론. 동화기술; 1997. (91 ~ 96쪽)
- AIRPAK. Theory manual, Fluent Inc.; 2001.
국내 자동차 배출가스 허용기준. 국립환경연구원. 2000. URL: <http://www.nier.go.kr>