

| | | | |
|-------|---------------|------|------|
| 강좌와 조 | 10강좌 4조 | 과제종류 | 연구논문 |
| 제출시간 | 2015년 11월 25일 | 제출장소 | eTL |

| | |
|----|-----------------------------------|
| 제목 | 배기가스 유입 최소화를 위한 오토바이 헬멧 실드 디자인 구상 |
|----|-----------------------------------|

| | | | | | |
|-------|------------|--|-----|---------|--|
| 교과목 | 과학과 기술 글쓰기 | | | | |
| 담당교수 | 설민 | | | | |
| 제 출 자 | | | | | |
| 이름 | 학과 | | 이름 | 학과 | |
| 강영희 | 화학생물공학부 | | 김은별 | 화학생물공학부 | |
| 김성환 | 기계항공공학부 | | 최동진 | 전기정보공학부 | |
| 김신명 | 기계항공공학부 | | | | |

배기가스 유입 최소화를 위한 오토바이 헬멧 쉘드 디자인 구상

초록

오토바이 헬멧 중 오픈페이스 헬멧은 상대적으로 저렴한 가격으로 인해 대학가에서 널리 이용되고 있다. 그러나 오픈페이스 헬멧의 구조 특성상 착용 시 일부분이 개방되어 있어 운전자는 주행 중 배기가스에 노출될 수밖에 없다. 이러한 문제점에 대하여 본 연구는 헬멧 전면 쉘드의 모양을 변화시켜 해결방안을 제시하였다. 본 연구는 헬멧 내부로의 배기가스 유입량을 최소화하는 쉘드 디자인을 찾는 것을 목표로 한다.

이를 위해 쉘드의 각도, 길이, 굴곡의 유무 세 가지 변인에 대하여 전산유체역학(CFD)으로 배기가스 유입량이 최소가 되는 쉘드 디자인을 예측하였다. 그 다음 풍동 실험을 통해 각도, 길이 두 가지 변인에 대하여 실제 배기가스 유입량을 확인하였다. 실험 결과 각도는 기존의 쉘드보다 안쪽으로 휘어진 -15° (유입량 감소율 40.9%), 길이는 기존보다 20mm 긴 186mm(유입량 감소율 32.4%)가 최적 길이임을 알 수 있었다. 쉘드의 각도와 길이를 변화 시킴으로써 배기가스 유입량의 상당한 감소 효과를 얻을 수 있다는 것을 확인하였다.

본 연구의 결과에 따라 쉘드를 개선함으로써 오토바이 운전자의 배기가스 흡입량을 크게 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 특히 쉘드 디자인과 배기가스 유입량의 연관성에 대한 선행 연구가 전혀 없기 때문에 본 연구가 이 분야의 좀 더 정교한 연구를 진행하는 출발점이 될 것으로 기대한다.

- 목 차 -

| | |
|--|----|
| 1. 서론 | 4 |
| 1.1. 연구배경 및 의의 | 4 |
| 1.2. 연구목적 | 5 |
| 2. 선행연구 | 6 |
| 3. 배경이론 | 6 |
| 3.1. 코안다효과 | 6 |
| 3.2. 유동의 종류와 유동박리 현상 | 7 |
| 3.3. 전산유체역학(Computational Fluid Dynamic) | 8 |
| 4. 연구방법 | 8 |
| 4.1. 3D 스캐닝 및 역설계 | 8 |
| 4.2. 3D CAD 모델 수정 및 프린팅 | 8 |
| 4.2.1. 각도에 따른 쉘드 CAD 모델 | 8 |
| 4.2.2. 길이에 따른 쉘드 CAD 모델 | 10 |
| 4.2.3. 쉘드 3D 프린팅 | 10 |
| 4.3. 전산유체역학을 이용한 유동분석 | 11 |
| 4.4. 풍동실험을 통한 배기가스 유입량 측정 | 12 |
| 4.4.1. 먼지센서 | 12 |
| 4.4.2. 헬멧 쉘드 조작변인 | 13 |
| 4.4.2.1. 각도 변화 | 13 |
| 4.4.2.2 길이 변화 | 14 |
| 4.4.3. 풍동실험장치 | 14 |
| 5. 연구결과 | 15 |
| 5.1. CFD 결과 | 15 |
| 5.2. 풍동실험 결과 | 17 |
| 6. 결론 | 18 |
| 7. 참고문헌 | 19 |
| <부록> | 19 |

1. 서론

1.1. 연구배경 및 의의

오토바이는 가격이 저렴하고 쉽게 운전할 수 있어 많은 대학생들이 통학용으로 사용하고 있다. 하지만 오토바이에는 자동차와 달리 별도의 안전장치가 없어 오토바이 운전자는 주행 중 반드시 헬멧을 착용해야 한다고 도로교통법 제50조 3항에 명시되어 있다.



그림 1 하프페이스 헬멧



그림 2 오픈페이스 헬멧



그림 3 풀페이스 헬멧

헬멧은 사고 발생 시 운전자의 머리를 보호할 뿐만 아니라 주행 중 주변 차량들에서 배출되는 배기가스로부터 운전자를 보호한다. 오토바이 헬멧은 하프페이스, 오픈페이스, 풀페이스 이렇게 세 종류로 구분할 수 있다. 헬멧 내로 유입되는 배기가스를 줄이려면 풀페이스 헬멧 착용이 가장 확실한 방법이다. 풀페이스 헬멧은 운전자의 머리 전체를 감싸는 형태이기 때문에 대부분의 배기가스를 막을 수 있다. 하지만 가격, 편리성, 디자인 등의 이유로 대다수의 대학생들은 풀페이스보다는 오픈페이스 헬멧을 사용하고 있다. 오픈페이스 헬멧은 전면 혹은 턱 부분이 뚫려있어 풀페이스 헬멧보다 앞 차량에서 배출되는 고농도의 배기가스에 취약하다. 실제 설문조사 결과 풀페이스 헬멧 착용자의 비율은 20%에 그쳤으며 교내를 제외한 일반 도로를 주로 이용하는 운전자 중 74%에 달하는 응답자가 배기가스로 인한 피해 경험이 있다고 밝혔다.

착용헬멧 비율

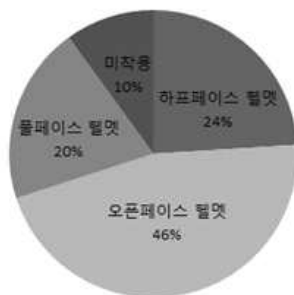


그림 4 착용 헬멧 비율

배기가스 흡입경험 여부

- 일반 도로를 주로 이용하는 운전자 중 -

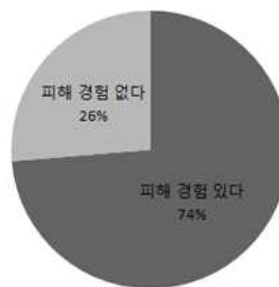


그림 5 배기가스 흡입 경험 여부

현재 오픈페이스에 장착된 쉴드는 단순히 바람막이용으로서 배기가스 차단에 최적화되어 있지 않다. 유체역학적 원리를 응용해 쉴드 모양을 개선한다면 헬멧 내부로의 배기가스 유입을 효과적으로 차단할 수 있다. 개선된 쉴드를 헬멧에 장착함으로써 오토바이 운전자를 배기가스의 위험으로부터 보호할 수 있을 것으로 예상된다.

1.2. 연구목적

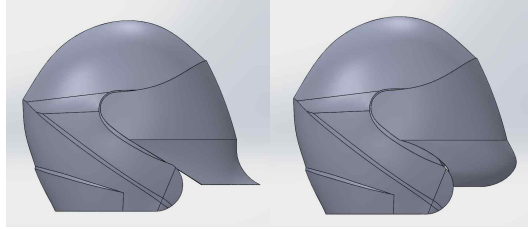


그림 6 굴곡 있는 각도 변화

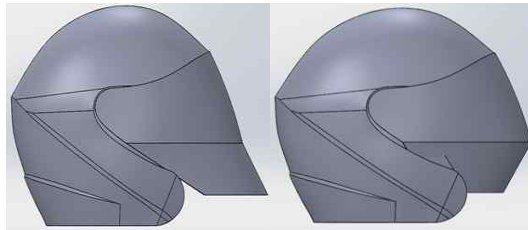


그림 7 굴곡 없는 각도 변화

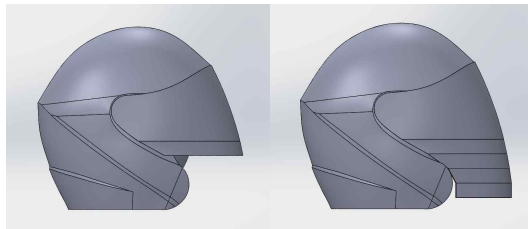


그림 8 길이 변화

본 연구는 대학생들이 가장 많이 사용하는 오픈페이스 헬멧(이하 헬멧)을 대상으로 한다. 연구의 목적은 쉴드 디자인 변화에 따른 헬멧 내부로의 배기가스 유입량을 분석하여 최적의 쉴드 디자인을 선정하는 것이다. 디자인 변화에 관련된 주요 변인은 쉴드의 길이와 각도, 굴곡의 유무이다.

턱 부분에 개방된 부분으로 배기가스가 유입되므로 쉴드 아랫부분의 각도 변화에 따라 유체역학적 현상으로 인해 헬멧 내 배기가스의 유입량에 차이가 생길 것으로 예상된다. 본 연구에서는 그림 6와 그림 7과 같이 쉴드 아랫부분에 각도 변화를 주면서 배기가스 유입량을 측정하고 그 값이 최소가 되는 각도를 찾고자한다.

직관적으로 쉴드의 길이가 길어질수록 배기가스의 유입량이 줄어들 것으로 예상된다. 그러나 쉴드의 길이가 불필요하게 길어질 경우 사용자는 불편함을 느낄 뿐더러 디자인 측면에서도 바람직하지 않다. 따라서 본 연구의 첫 번째 목적은 사용자에게 불편함을 주지 않는 범위 내에서 헬멧 내부로의 배기가스 유입량을 효과적으로 감소시키는 최적의 쉴드 길이를 찾는 것이다.(그림 8 참고)

전산유체역학(Computational Fluid Dynamic, 이하 CFD)을 이용한 시뮬레이션을 통해 쉴드의 길이와 각도 변화, 굴곡의 유무에 따른 헬멧 내부로의 배기가스 유입량을 예측한다. 그 후 풍동실험을 통해 쉴드의 길이와 각도 변화에 따른 헬멧 내부로의 실제 배기가스 유입량을 측정한다. 측정 결과를 바탕으로 배기가스 유입을 효과적으로 감소시킬 수 있는 최적의 쉴드 디자인을 찾는다.

실제 오토바이 주행 상황을 완벽하게 재현할 수는 없기 때문에 CFD와 풍동실험 둘 다 현실을 모사하기 위한 방법으로 사용된다. CFD 시뮬레이션은 현실과 유사하게 배기가스 발생원을 설정할 수 있고 유연하고 다양한 변인 설정이 가능하고, 수치 계산을 통해 주어진 조건 하에서 신뢰도 높은 결과를 보여준다는 장점이 있다. 하지만 시뮬레이션에 사용된 모델에 헬멧의 질감, 점성, 표면 거칠기 등을 완벽하게 반영하기는 힘들다는 단점이 있다. 풍동 실험은 CFD에 비하여 배기가스 발생원의 위치, 헬멧의 높이, 바람의 입사 각도 등을 다양하게 설정할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 그러나 한편으로는 실제 헬멧과 쉘드를 사용하기 때문에 CFD에서 사용되는 헬멧 모델보다는 헬멧 주위 유동에 대한 현실 재현도가 높다. 따라서 CFD와 풍동실험은 상호보완적인 관계를 가지며 이 둘의 결과를 비교분석하여 더 신뢰도 높은 결과를 얻을 수 있다.

2. 선행연구 조사

헬멧 내 배기가스 유입량을 줄이기 위한 개선안이 필요한 상황임에도 불구하고 이와 관련된 선행 연구는 미미하다. 국내·외를 막론하고 오토바이 헬멧에 관련된 연구논문을 살펴보면, ‘A review of research on bicycle helmet ventilation’, ‘시뮬레이션에 의한 오토바이 헬멧의 충격 응답 분석’ 등 헬멧의 외부 유동, 환기, 열 분포, 내구성에 대한 연구가 대부분을 차지하고 있으며 헬멧 내부로의 배기가스 유입에 대한 연구는 진행된 바 없었다. 특히 오픈페이스 헬멧이나 헬멧 전면에 부착하는 쉘드와 관련한 연구는 전혀 찾아볼 수 없었다. 이에 대한 이유로 두 가지를 들 수 있다. 첫째, 헬멧 연구의 초점이 풀페이스 헬멧, 그 중에서도 모터사이클 대회 선수용 헬멧에 맞추어져 있다. 또한 스포츠 모터사이클 라이딩에서는 운전자의 배기가스 흡입보다는 더 안전하고 빠른 주행에 대한 관심이 크기 때문에 배기가스 유입에 대한 연구가 부족하다. 둘째, 헬멧에 대한 대부분의 실험결과는 헬멧 제작사 내부의 비공개 정보로 활용된다. 라승호 외(2002)¹⁾에 따르면 헬멧 제작사들은 헬멧 설계 시 풍동 실험을 반드시 수행하지만 실험결과를 공개하지 않고 내부적으로 활용되기 때문에 관련 자료를 찾기 어렵다.

한편, 본 연구의 실험 설계에 라승호 외(2002)와 조재웅(2012)²⁾ 두 연구를 참고하였다. 라승호 외(2002)의 연구는 본 연구와 목적은 다르지만 풀페이스 헬멧에 대한 풍동 실험을 진행하였기에 해당 연구의 실험 방법을 참고하여 풍동 실험을 설계하였다. 조재웅(2012)은 오토바이 주변의 공기 유동의 분석을 제시하였는데 이를 본 연구의 실험 조건을 설정하는데 참고하였다.

3. 배경이론

3.1. 코안다 효과

1) 라승호 외(2002), 오토바이 헬멧에 대한 흐름 가시화 실험, 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, 196~201 쪽.

2) 조재웅(2012), 오토바이 형상에 따른 공기의 유동해석, 한국기계기술학회지 14.



그림 9 헬멧 앞면 유체의 거동

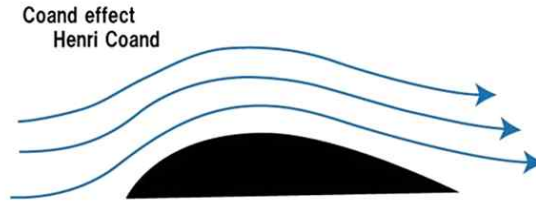


그림 10 코안다 효과



그림 11 오토바이 윈드 스크린 lip

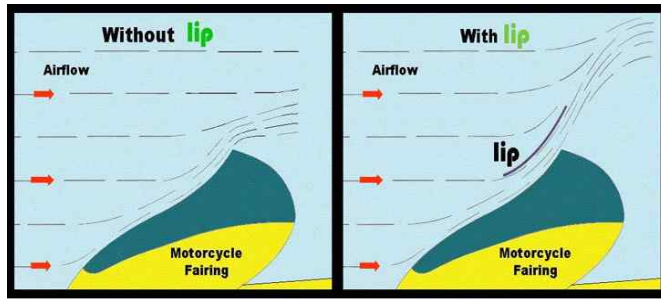


그림 12 오토바이 윈드 스크린 lip 유무에 따른 유동 변화

그림에서 볼 수 있듯이 오토바이 헬멧 씌우는 헬멧에 정면으로 흐르는 공기 유동을 막아주는 역할을 한다. 헬멧 씌드에 입사하는 공기 유동을 개략적으로 살펴보면 씌드 끝부분에서 공기 흐름이 씌드의 표면을 따라 변하는 것을 볼 수 있는데, 이 현상은 코안다 효과(Coanda effect)에 의한 것이다. 코안다 효과란 그림 10처럼 유체의 점성에 의해 유동의 운동방향이 물체의 곡면을 따라 변하는 것을 말하며 이를 이용해 물체에 흐르는 유동의 움직임을 효과적으로 설명할 수 있다. 그러나 Trancossi M.(2013)³⁾에 따르면 코안다 효과는 복잡한 미분방정식의 형태로 표현되기 때문에 단순히 이론만으로는 그 효과를 정량적으로 예측하기 매우 어렵다.

코안다 효과가 적용된 사례로 윈드스크린 lip을 들 수 있다. 그림 11처럼 오토바이 윈드스크린에 추가로 부착하는 구조물을 윈드스크린 lip이라고 한다. 그림 12에서 볼 수 있듯이 오토바이 앞면 윈드 스크린에 lip을 달게 되면 코안다 효과로 인해 바람이 lip을 타고 높이 올라가게 되어 오토바이 운전자가 맞는 바람의 양은 현저히 줄어들게 된다. 본 연구에서는 윈드 스크린 lip의 원리를 헬멧 씌드 디자인에 적용함으로써 비슷한 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

3.2 점성 유동과 유동박리 현상

비점성 유동(Non-viscous flow)은 유체 입자와 물체 표면 사이에 마찰이 없는 이상적인 유체의 유동을 말한다. 비점성 유동에서 유체 분자의 운동 에너지는 마찰에 의해 손실되지 않는다. 하지만 실제의 모든 유동은 점성 유동(Viscous flow)이다. 점성 유동에서는 유체 입자가 물체 표면을 따라 흐를 때 표면과 유체 입자 사이에 마찰이 존재하기 때문에 유체 입자는 물체 표면을 따라 흐르다가 운동에너지를 잃고 물체의 표면으로부터 떨어져 나간다.

3) Trancossi M., Dumas A., Vucinic D.(2013), Mathematical Modeling of Coanda Effect, SAE Technical Paper n. 2013-01-2195.

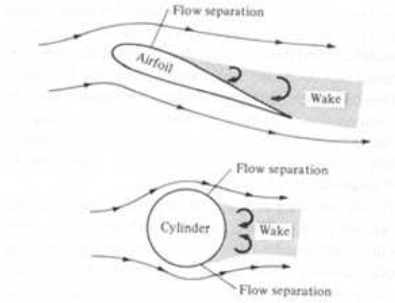


그림 13 유동 박리 현상

이러한 현상을 유동 박리현상(Flow separation)이라고 부른다. 그림 13은 비행기날개의 단면인 익형(Airfoil)과 실린더(Cylinder)에서의 박리현상을 도식화한 그림이다. 이 때 물체 표면과 박리가 일어나는 지점에서의 기체 입자의 운동방향 벡터가 이루는 각도를 박리각도라고 하며 박리각도가 클수록 유동박리 현상이 더 급격하게 일어나는 것으로 볼 수 있다. 박리각도는 물체의 표면 거칠기, 형상, 유동의 속도, 점성 계수 등에 따라 달라진다.

3.3. 전산유체역학(Computational Fluid Dynamic)

전산유체역학(Computational Fluid Dynamic, C.F.D)은 실제로 실험을 하지 않고 컴퓨터를 이용하여 유체의 흐름을 측정하는 방법이다. 유동의 흐름을 예측하기 위해서는 수치해석적인 방법으로 Navier-Stokes 유체 방정식의 해를 구해야 한다.

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right]_i = - [\nabla p]_i + \mu [\nabla^2 \mathbf{u}]_i + \rho \mathbf{f}_i$$

[수식 1] Navier-Stokes Equation

u : 속도, ρ : 밀도, p : 압력, μ : 점도, f : 외력(단위부피당)

그 방대한 양의 계산을 컴퓨터로 하는 것이다. 이 방법은 실제 실험보다 비용적인 면에서 경제적이라는 장점이 있지만 계산량이 많아 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다. C.F.D.에서 유동해석의 순서는 크게 세 가지로 분류된다. 1. Pre-processing 2. Solution processing 3. Post-processing이다.

Pre-processing은 격자를 구성하는 과정으로서 정확한 유동의 해를 구하는 데 중요하며 C.F.D 전체 과정 중에서 가장 많은 시간을 소요하는 과정이다. 해석하려는 유동장에 대해서 사각형 모양 또는 삼각형 모양의 격자로 공간을 나누는 작업이다. Solution processing은 격자를 구성한 후 수치 해석적으로 유체 방정식의 해를 구하는 과정이다. post-processing은 해석한 결과를 도시하여 분석하는 과정이다. 이 과정을 통해서 컴퓨터 화면으로 예측된 유동의 흐름을 볼 수 있게 되는 것이다.

4. 연구방법

본 연구에서는 3D 스캐닝과 3D 프린팅을 이용하여 CFD와 풍동실험에 사용할 헬멧 모델을 제작한다. 3D 스캐닝 모델을 이용하여 CFD 시뮬레이션을 진행하고 3D 프린팅 모델을 이용하여 풍동실험을 진행하였다. 먼저 CFD를 통해 배기가스 유입량을 최소화하는 쉘드의 각도 및 길이를 예측하고 유동 분석을 통해 그 결과를 해석하였다. 그 후 풍동실험으로 CFD의 결과를 검증하였다.

4.1. 3D 스캐닝 및 역설계

본 연구에 사용된 헬멧은 SST사의 오픈페이스 헬멧이다. 쉘드는 기본적으로 헬멧에 부착되어 판매되는 쉘드를 사용하였다. 쉘드를 3D 스캔하기 위해 서울대학교 정보화본부에 있는 3D scanner(모델명: NextEngine Ultra 3D Scanner)를 이용하였다. 이 과정에서 스캐

닝 해상도를 높이기 위해 반투명한 쉴드를 검은 색으로 락카칠해 스캐닝을 수행하였다. 헬멧을 3D 스캔하는 데에는 역설계 전문업체인 휴시스템사 소유의 3D scanner(모델명: Breuckmann stereo SCA/V 5M)를 이용하였다. 이후 역설계 과정을 통해 3D 스캔본(stp파일형식)을 CAD 파일(SLDPRT파일형식)로 변환하였다.









그림 14 SST 헬멧 앞면



그림 15 SST 헬멧 옆면

표 1 헬멧 및 쉴드의 역설계 과정

| 3D scanning | 3D scan file | 3D CAD model |
|--|---|---|
|  <p>그림 16 라카칠 한 쉴드</p> |  <p>그림 18 쉴드 스캔본</p> |  <p>그림 20 쉴드 CAD모델</p> |
|  <p>그림 17 쉴드의 3D scanning</p> |  <p>그림 19 헬멧 스캔본</p> |  <p>그림 21 헬멧 CAD모델</p> |

4.2. 3D CAD 모델 수정 및 프린팅

4.2.1. 각도에 따른 쉴드 CAD 모델

그림 22에서 보는 것과 같이 총 7가지(기존 쉴드 제외) 각도에 대하여 쉴드 CAD 모델을 만들었다. 같은 각도에 대해서도 굴곡 있거나 굴곡이 없는 방식, 이렇게 두 가지 방법으로 쉴드에 각도 변화를 주었다. 표2은 굴곡이 없는 경우이며 표3은 굴곡이 있는 경우를 나타낸다.

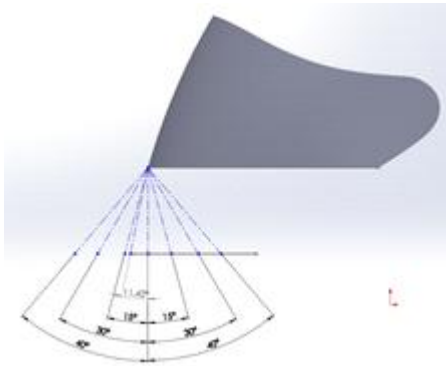


그림 22 쉴드 각도 변화 값



그림 23 쉴드 각도 변화(등각보기)

표 2 굴곡 없는 각도 변화 주었을 때 쉴드 모양에 따른 헬멧 모델

| +40° | +30° | +15° | +11.42°(기존 쉴드) |
|------|------|------|----------------|
| | | | |
| 0° | -15° | -30° | -40° |
| | | | |

표 3 굴곡 있는 각도 변화 주었을 때 쉴드 모양에 따른 헬멧 모델

| +40° | +30° | +15° | +11.42°(기존 쉴드) |
|------|------|------|----------------|
| | | | |
| 0° | -15° | -30° | -40° |
| | | | |

4.2.2. 길이에 따른 쉴드 CAD 모델

그림24에서 보는 것과 같이 총 6가지(기존 쉴드 포함)의 길이에 대하여 CAD 모델을 만들었다. 표4에 6가지에 대한 헬멧 모델의 모습을 나타냈다.

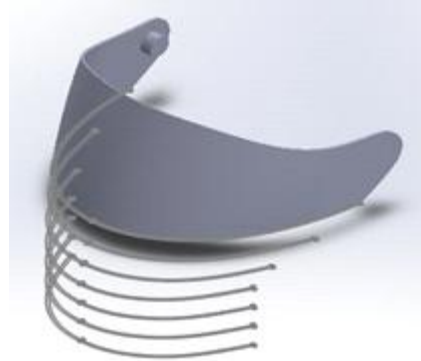
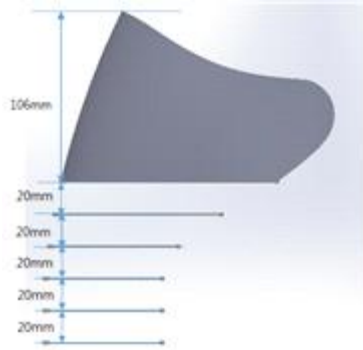








그림 24 쉴드 길이 변화 값

그림 25 쉴드 길이 변화(등각보기)

표 4 길이 변화 주었을 때 쉴드 모양에 따른 헬멧 모델

| 106mm | 126mm | 146mm |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 166mm(원래 길이) | 186mm | 206mm |
|  |  |  |

4.2.3. 쉴드 3D 프린팅

비용문제로 굴곡 없이 각도변화를 준 쉴드 CAD 모델만을 출력할 수 있었다. 서울대학교 아이디어팩토리 사업단 소유의 3D 프린터 3대(Ultimaker사의 Ultimaker2 두 대, 신도리코사의 3D wox 한 대)를 이용하였으며 재질은 실제 쉴드의 폴리머 재질과 비슷한 ABS(색상은 임의)를 사용하였다.

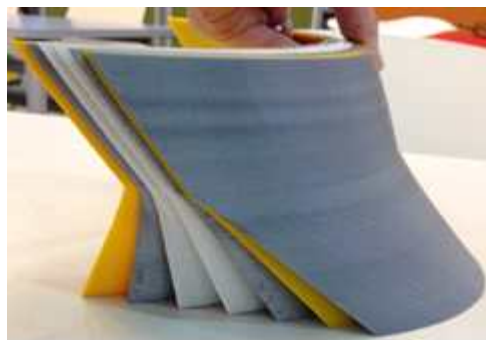


그림 26 3D 프린터 출력물

4.3. 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)를 이용한 유동분석

CFD는 컴퓨터를 이용하여 알고리즘을 사용하여 Navier-Stokes 방정식을 수치해석적으로 풀고 해석하는 것이다. CFD에서 유동해석의 순서는 크게 세 가지로 분류된다.

(1)Pre-processing; (2)Solution processing; (3)Post-processing. Pre-processing은 관찰의 대상이 되는 공간을 작은 격자로 나누는 작업이다. Solution processing은 각각의 격자에 대하여 수치해석적으로 Navier-Stokes 방정식의 해를 구하는 과정이다. post-processing은 해석한 결과를 도시하여 분석하는 과정이다. 이 과정을 통해서 컴퓨터 화면으로 예측된 유동의 흐름을 볼 수 있게 되는 것이다.

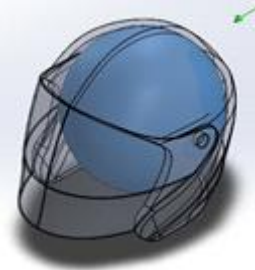
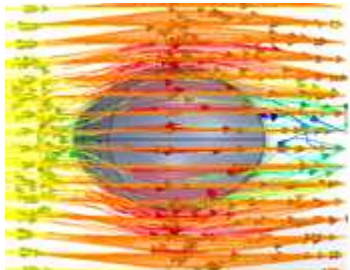

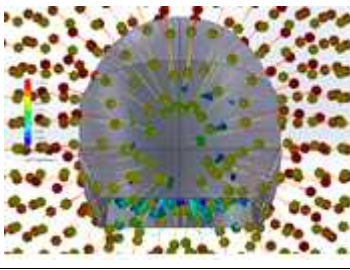
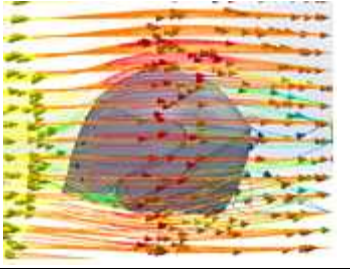
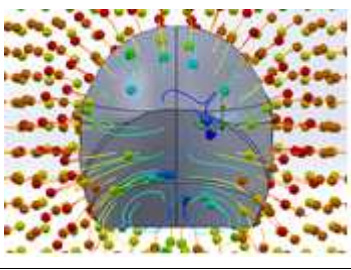
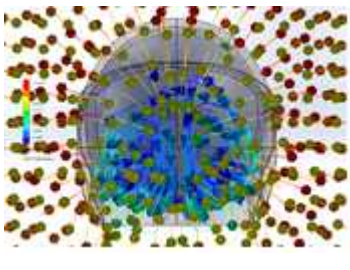
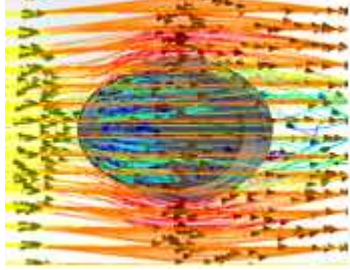
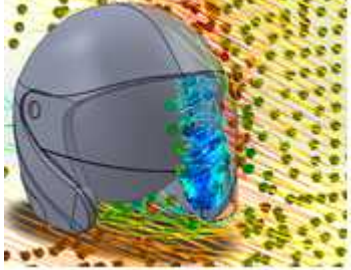
본 연구에서 사용한 CFD 소프트웨어는 Dassault사의 SolidWorks2014 Flow Simulation이다. CFD에 사용되는 CAD 모델들은 4.2. 과정에서 만든 다양한 각도와 길이의 쉘드가 장착된 헬멧 CAD 모델들이다. 보다 정확한 시뮬레이션을 위하여 헬멧 CAD 모델 안에 사람의 머리 모형(직경 220mm의 구)을 넣어 CFD를 수행하였다. (표 6 참고)

헬멧을 포함하도록 우리의 관찰 대상이 되는 공간(Computational Domain)의 크기를 설정한 후 Pre-processing을 수행한다. Pre-processing 과정에서 유체 종류, 유동 종류, 풍속, 결과 해상도, 공간 격자 개수, 유체 격자 개수 등의 조건을 설정한다. 표 5에 이 조건들을 명시하였다. Pre-processing이 끝나면 격자가 생성되고 이 격자들을 바탕으로 Solution processing이 진행된다. Solution processing이 끝나면 Post processing을 통해 헬멧과 쉘드 주변에서의 유동을 관찰한다. 이 때 헬멧 내부로 들어오는 유선(streamline)의 수가 배기가스 유입량과 비례한다고 가정할 수 있으므로, 헬멧 내부로 들어온 유선의 수를 셸프로써 배기가스 유입량을 예측할 수 있다. 이러한 방법으로 모든 각도와 길이의 헬멧 CAD 모델에 대하여 CFD를 수행하여 배기가스 유입량을 비교하였다.

표 5 SolidWorks2014 Flow Simulation 조건

| Flow Type | External Flow (Turbulent) |
|-------------------------|---|
| Fluid Type | Air |
| Wind Velocity(m/s) | 10 |
| Result Resolution | 5 |
| Computational Domain(m) | x: 0.058~0.3 y: -0.3~0.3 z: 0~0.6 |
| Number of CPU used | 4 |
| Number of Fluid Cells | 193047 |
| Partial Cells | 3627 |
| Iteration per 1 travel | 116 |
| Number of Particles | 300 |

표 6 CFD 시뮬레이션 예시(굴곡있는 +15도)

| 사람 머리 모형 | CFD 윗면 | CFD 등각도 |
|---|---|--|
|  |  |  |
| CFD 앞면(섀드 불투명) | CFD 옆면 | CFD 뒷면 |
|  |  |  |
| CFD 앞면(섀드 투명) | CFD 아랫면 | 헬멧 반 쪽에 대한 CFD |
|  |  |  |

4.4. 풍동실험을 통한 배기가스 유입량 측정

CFD를 통해 예측한 결과를 검증하기 위하여 풍동실험을 다음과 같이 수행하였다.

4.4.1. 먼지센서

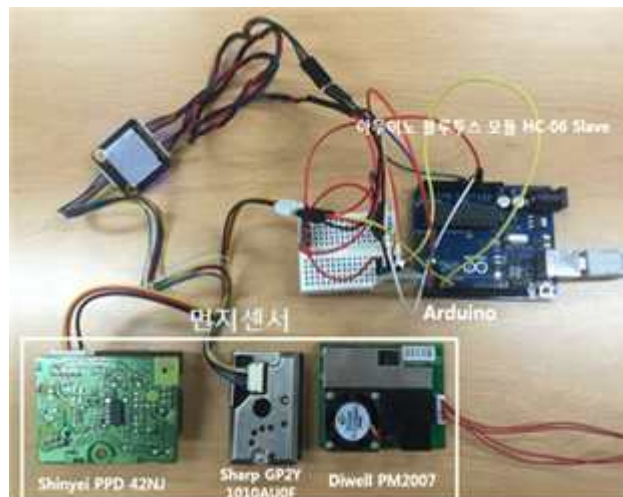


그림 27 먼지센서와 아두이노

풍동 실험에서 연기 농도를 측정하기 위해 먼지센서를 사용한다. 일반적으로 먼지센서는 종류에 따라 측정 범위 및 측정 방식이 다양하다. 측정될 연기 농도의 범위를 미리 알 수 없어 측정 범위가 상이한 세 가지 먼지센서를 준비하였다. 최종적으로는 PM2007(Cubic) 먼지센서를 이용하였다.

표 7 먼지센서 작동 특성

| 모델명(제작사) | 측정 농도 범위 | 오차 범위 | 측정 방식 | 최소 측정 가능 크기 |
|-------------------------|---------------------------------|------------|---------|-------------------|
| GP2Y1010AU0F (SHARP) | 0~500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | $\pm 15\%$ | 적외선 LED | - |
| PPD 42NJ(Shinyei) | 0~28,000개/L | - | 레이저 산란 | 1 μm |
| PM2007(Cubic) | 0~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | $\pm 15\%$ | 레이저 산란 | 0.3 μm |

센서를 컴퓨터와 연결하기 위해 아두이노(Arduino) 보드를 사용하였다. 아두이노는 센서로부터 값을 받아들여 컴퓨터에 전달하는 역할을 한다. 아두이노 시스템을 이용하여 센서의 측정값을 기록하기 위해서는 아두이노 프로그램 코드가 필요하다. 공개 오픈 소스를 참고하여 코드를 작성하였으며 자세한 코드는 부록에 첨부하였다.

4.4.2. 헬멧 쉴드 조작변인

4.4.2.1. 각도 변화



그림 28 두 개의 쉴드 조각

그림 29 각도 변화 쉴드

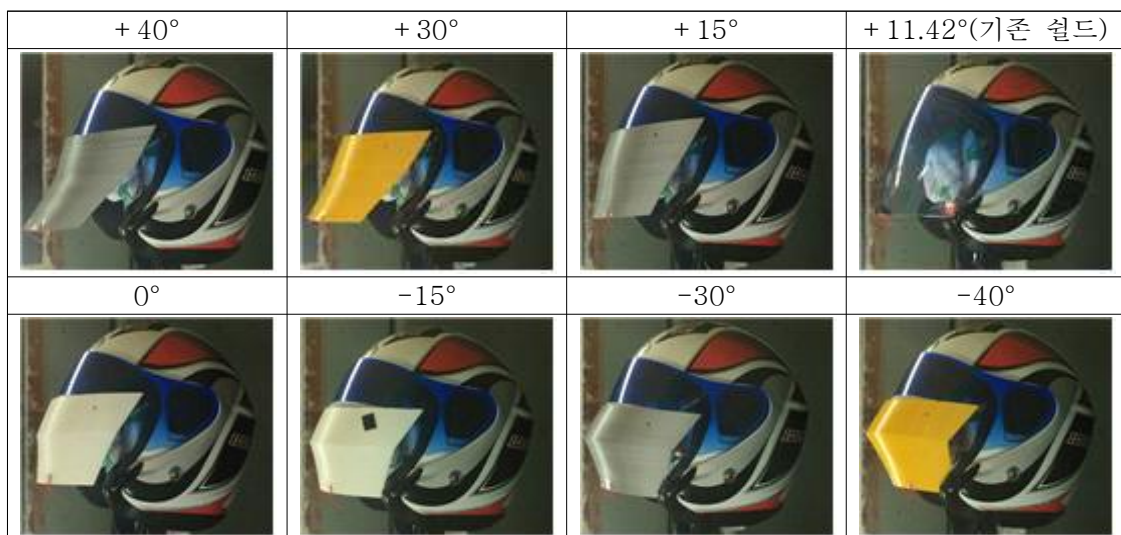


표 8에서 보는 것과 같이 총 8가지 각도에 대해 풍동 실험을 진행하였다. 각도변화에 따른 쉴드 모델은 그림28과 그림29에서 보는 것과 같이 제작하였다.

4.4.2.2 길이 변화



그림 30 두 개의 쉴드 조각

그림 31 길이 변화 쉴드

| 126mm | 146mm | 166mm (기존 쉴드) | 186mm | 206mm |
|-------|-------|------------------|-------|-------|
| | | | | |

쉴드 길이는 표 9에 나타난 것처럼 다섯 가지 길이에 대해 실험하였다. 길이변화에 따른 쉴드 모델은 그림 30, 그림 31에서 보는 것과 같이 제작하였다.

4.4.3. 풍동실험장치

서울대학교 40동 아음속풍동실험장치에서 Fog machine으로 연기를 발생시켜 풍동기기로 바람을 일으켰다. 연기 발생장치인 Fog machine(모델명: ANTARI Z-800 II)로 ANTARI Fog liquid FLR-5를 기화시켜 연기를 발생시켰다. ANTARI Fog liquid FLR-5는 가볍고 빠르게 흩어지는 특성을 지녀 배기가스의 흐름을 모사하기에 충분하다. 그림 33과 같이 먼지센서를 헬멧과 지지대에 부착하였다. 이 먼지센서를 이용하여 헬멧 내부로 유입된 연기 농도를 측정하였다. 각 변인의 값에 대하여 2회씩 측정하여 그 평균을 기록하였다. 또한 유동이 흐르기 시작한 후 일정시간이 지나 정상상태에 도달하였을 때의 농도를 기록하였다.



그림 32 서울대학교 40동 아음속풍동실험장치



그림 33 지지대와 먼지센서

표 10 풍동실험 조건

| | | | |
|-----------------|-------|-----------|------------------|
| 풍속 | 헬멧 높이 | 연기 발생원 높이 | 연기 발생원과 헬멧 사이 거리 |
| 10m/s (=36km/h) | 480mm | 480mm | 2.3m |

표 10과 같이 풍동실험의 조건을 설정하였다. 대학교 캠퍼스 내에서의 일반적인 주행 속도, 또는 일반 도로에서 배기가스의 영향을 가장 많이 받는 서행시의 주행속도가 30~40km/h라는 것을 감안하여 그 중간값 부근인 36km/h(10m/s)로 정하였다. 연기가 연기발생원에서 나와 실체처럼 헬멧 주위를 감싸게 되는 거리를 직접 앞뒤로 움직여가며 확인한 뒤 2.3m로 정하였다.

5. 연구결과

5.1. CFD 결과

표 11 굴곡 여부에 따른 쉴드 각도별 내부로 유입되는 유선수량

| 구분 \ 각도 | | -40° | -30° | -15° | 0° | +11.42° (기존쉴드) | +15° | +30° | +40° |
|-----------|--------|------|------|------|------|-------------------|------|------|------|
| 굴곡이 있는 경우 | 유선 개수 | 22 | 12 | 23 | 22 | 46 | 24 | 14 | 22 |
| | 감소율[%] | 52.2 | 73.9 | 50.0 | 52.2 | 0.0 | 47.8 | 69.6 | 52.2 |
| 굴곡이 없는 경우 | 유선 개수 | 10 | 17 | 14 | 22 | 46 | 31 | 23 | 39 |
| | 감소율[%] | 78.3 | 63.0 | 69.6 | 52.2 | 0.0 | 32.6 | 50.0 | 15.2 |

표 12 쉴드 길이별 내부로 유입되는 유선수량

| 구분 \ 길이 | 126mm | 146mm | 166mm (기존쉴드) | 186mm | 206mm |
|---------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| 유선 개수 | 33 | 20 | 12 | 9 | 8 |
| 감소율[%] | - | - | 0 | 25 | 33.3 |

* 126mm, 146mm에서는 유선 개수가 증가함

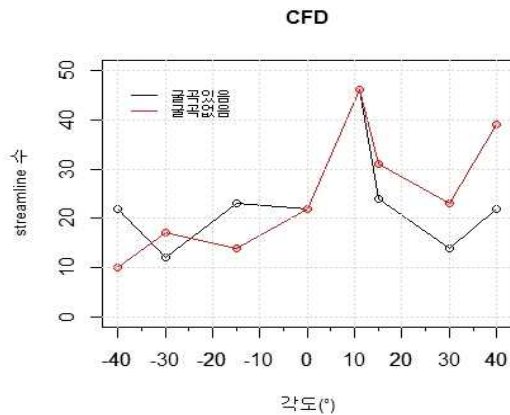


그림 34 각도에 따른 유입량

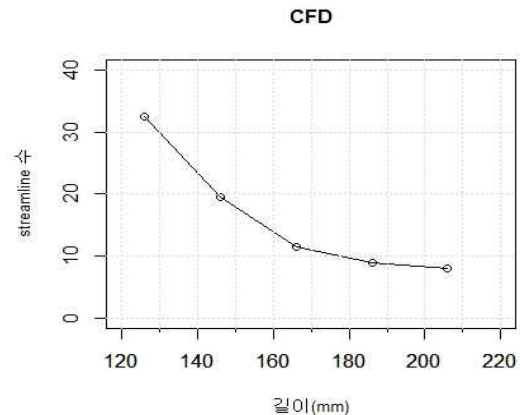
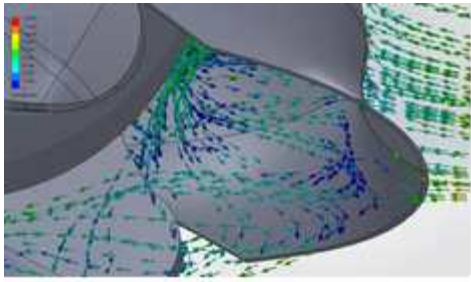
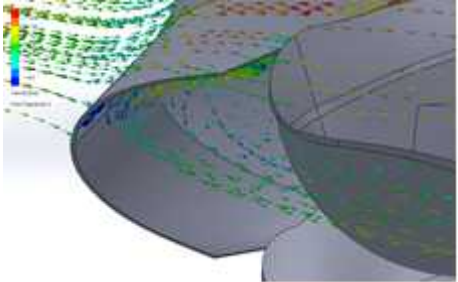
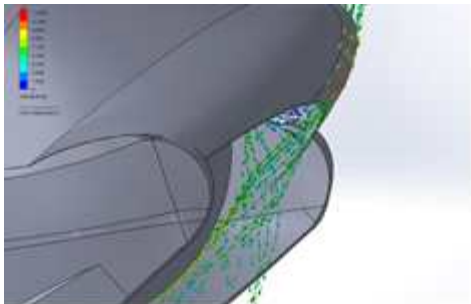
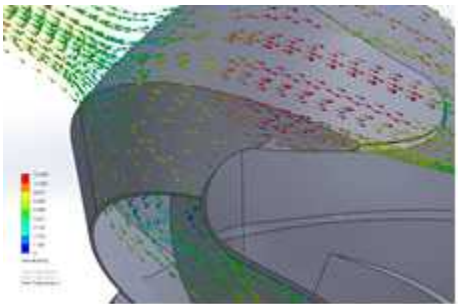


그림 35 길이에 따른 유입량

CFD 실험 결과로 얻은 데이터를 간략하게 정리하면 위와 같다. 각도 변화에 따른 유입량을 기존 쉴드(11.42°)의 유입량과 비교해본 결과 굴곡이 있는 경우는 -30°에서, 굴곡이 없

는 경우는 -40° 에서 가장 큰 감소율을 보이는 것을 확인하였다. 길이 변화에 따른 기준 쉴드(166mm) 대비 유입량 감소율은 가장 긴 길이인 206mm에서 최대가 되는 것을 확인할 수 있었다.

각도에 따른 유입량은 굴곡 여부에 상관없이 기준 쉴드의 각도인 $+11.42^\circ$ 에서 가장 많은 유입량을 보였다. 그림 34의 그래프를 보면 각도와 유입량 사이에 일정한 경향은 나타나지 않는다. 하지만 모든 각도 변화에 대하여 기준 쉴드보다는 유입량이 감소하였으며, 전반적으로 음의 각도일 때가 양의 각도일 때보다 적은 유입량을 보였다.

| | 굴곡 있을 때 | 굴곡 없을 때 |
|-------------|--|---|
| $+40^\circ$ |  |  |
| -40° |  |  |

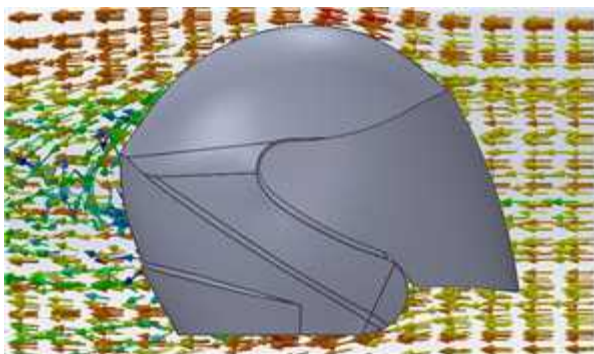


그림 36 기준 쉴드($+11.42^\circ$) 주위 유동

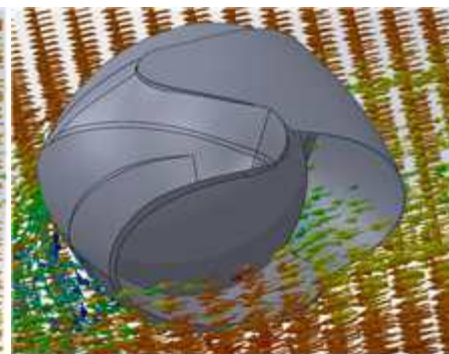


그림 37 기준 쉴드 헬멧 내부 유동

유선의 흐름을 분석해보면 두 가지 요인이 유입량의 차이를 일으키는 것으로 보인다. 첫째로 양의 각도인 경우 쉴드가 바깥으로 벌어지기 때문에 음의 각도일 때보다 헬멧 내부로 유체가 들어올 수 있는 공간이 커지기 때문이다. 둘째로 코안다 효과를 들 수 있다. 코안다 효과에 의해 유체가 쉴드의 표면을 따라서 흘러가는 것을 볼 수 있는데, 양의 각도에서는 쉴드 내부의 표면을 따라서 유체가 흘러 들어가는 반면에 음의 각도에서는 쉴드 외부의 표면을 따라서 유체가 흘러가게 되어 박리각도를 크게 만들어 유입량이 줄어들게 된다.

굴곡의 유무도 유입량에 영향을 미친다. 흥미롭게도 음의 각도에서는 굴곡이 없을 때 유입량이 더 적었고 양의 각도에서는 굴곡이 있을 때 유입량이 더 적었다. 유선의 흐름을 분석한 결과 헬멧 내부공간의 크기, 코안다 효과, 와류 세 가지 요인이 유입량에 영향을 미쳤다. 첫째, 굴곡은 헬멧 내부 공간의 크기를 변화시킨다. 양의 각도에서 굴곡이 있으면 굴곡이 없을 때보다 헬멧 내부 공간이 작아진다. 반면에 음의 각도에서는 굴곡이 있으면 헬멧 내부 공간이 오히려 커진다. 음의 각도에서는 코안다 효과의 영향이 크게 나타났다. 음의 각도에서 굴곡이 있을 때는 코안다 효과로 인해 박리각도가 굴곡이 없을 때보다 더 작아져서 유입량이 증가하였다. 양의 각도에서는 와류의 효과를 관찰할 수 있었다. 양의 각도에서는 박리각도에는 큰 차이가 없지만 굴곡이 있는 경우에만 내부에서 와류가 발생했다. 이 와류가 헬멧 내부로 들어오는 유체의 흐름을 방해하여 내부로 유입되는 양이 더 적었다.

셴드 길이와 유입량은 일관적인 경향성을 확인할 수 있었다. 길이가 길어짐에 따라서 유입량이 감소하였다. 셴드 길이가 길어지면서 헬멧 전면부를 더 많이 가리기 때문에 유입량이 감소하는 것을 확인하였다. 한 가지 주목할 점은 길이가 늘어날수록 유입량이 감소하는 정도가 점차 줄어들었다는 것이다. 이것은 헬멧과 셴드 끝부분이 멀어지면서 셴드의 한계효과가 점차 감소한 것으로 해석할 수 있다.

CFD 결과에서 가장 눈에 띄는 것은 기존 셴드에서 다른 각도의 모든 셴드보다 높은 유입량을 보인다는 것이다. 기존 셴드에 대한 CFD 결과를 보면 박리각도도 작고 와류도 생기지 않아 다른 각도의 셴드에 비해서 유입량이 큰 것을 볼 수 있었다. 따라서 각도와 길이를 변화시켜 기존 셴드를 개선할 수 있다는 가능성을 확인했고 이를 검증하기 위해 풍동실험을 진행했다.

5.2. 풍동실험 결과 및 비교분석

2015년 11월 13일부터 8일간 서울대학교 40동 풍동실험동에서 굴곡이 없는 셴드에 대해서 풍동실험을 진행했으며, 그 결과는 아래와 같다.

표 14 굴곡 없는 셴드의 각도별 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| 구분 \ 각도 | -40° | -30° | -15° | 0° | +11.42° (기존셴드) | +15° | +30° | +40° |
|--------------------------------|------|------|------|-----|-------------------|------|------|------|
| 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 490 | 425 | 455 | 720 | 770 | 745 | 730 | 740 |
| 감소율 [%] | 36.4 | 44.8 | 40.9 | 6.5 | 0.0 | 3.2 | 5.2 | 3.9 |

표 15 셴드 길이별 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| 구분 \ 길이 | 126mm | 146mm | 166mm (기존셴드) | 186mm | 206mm |
|--------------------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 1000 | 680 | 510 | 345 | 380 |
| 감소율 [%] | - | - | 0.0 | 32.4 | 25.5 |

※ 126mm, 146mm에서는 농도가 증가함

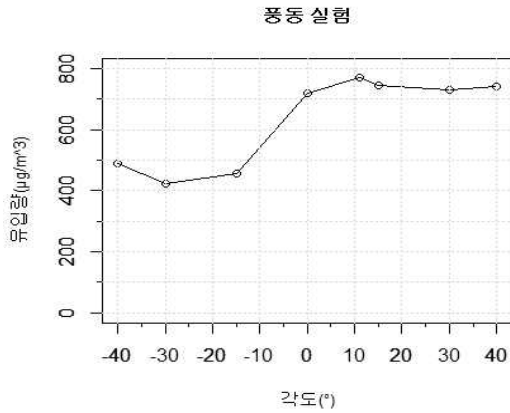


그림 38 각도에 따른 유입량

각도에 따른 유입량은 +11.42°(기준 쉘드 각도)에서 가장 높게 측정되었다. 전반적으로 음의 각도에서의 유입량이 양의 각도에서의 유입량보다 적게 나타났다. 최솟값은 -30°에서 나왔으며 기준 쉘드에서 44.8%에 달하는 유입량 감소가 일어났다. 길이에 따른 유입량은 전반적으로 길이가 증가함에 따라 유입량이 적은 경향성을 보였다. 다만 가장 긴 206mm에서는 경향성을 벗어나 오히려 약간 증가했다.

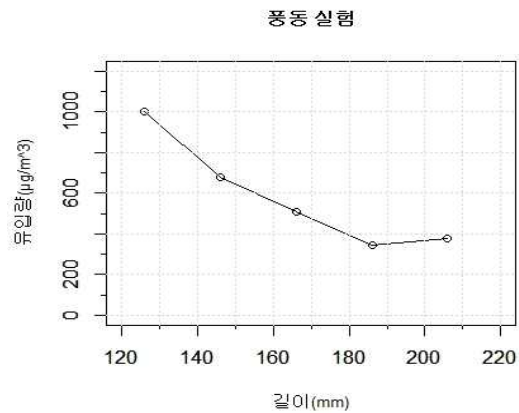


그림 39 길이에 따른 유입량

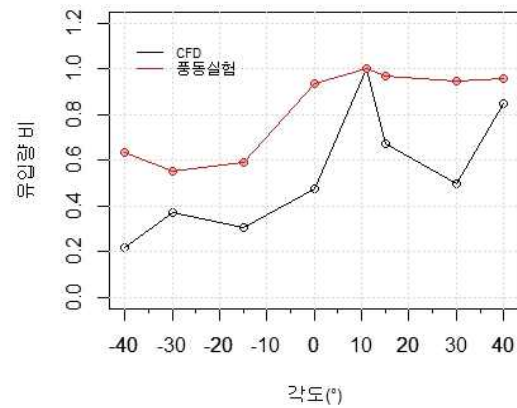


그림 40 각도에 따른 유입량

그림 40, 그림 41은 CFD 결과와 풍동실험의 결과를 비교분석하기 위하여 기준 쉘드의 유입량 대비 변형 쉘드의 유입량 비를 그래프로 나타낸 것이다. 각도에 따른 유입량 변화를 살펴보면 둘 다 기준 쉘드의 유입량이 가장 크게 나타났다. 또한 둘 다 음의 각도일 때 양의 각도일 때에 비해서 전반적으로 적은 유입량을 보였다. 이러한 점에서 CFD의 예측과 풍동실험 결과는 같은 경향성을 가지는 것을 볼 수 있었다. 하지만 CFD에서 예측했던 것에 비해 각도를 변화시켰을 때의 실제 유입량 감소율은 적게 나타났다. 또한 CFD에서는 -40°에서 최소 유입량을 보인 반면에 풍동실험에서는 -30°에서 최소 유입량을 보였다.

풍동실험 결과를 보면 유입량을 최소화하는 각도는 -30°이다. 하지만 음의 방향으로 각도가 너무 커지면 사용자의 움직임에 제약이 생기게 되어 편의성이 떨어진다. 따라서 불편함을 최소화하면서 유입량을 줄여야한다. 그림 40을 보면 0°와 -15° 사이에서 유입량이 큰 폭으로 떨어지지만 -15°에서 -40° 사이의 각도에서는 유입량의 변화폭이 작다. 따라서 유입량 감소와 사용자의 편리성을 모두 고려하였을 때 적절한 쉘드의 각도는 -15° 정도로 볼 수 있다.

길이에 따른 유입량 변화를 살펴보면 쉘드의 길이가 증가함에 따라 유입량이 줄어들 것이

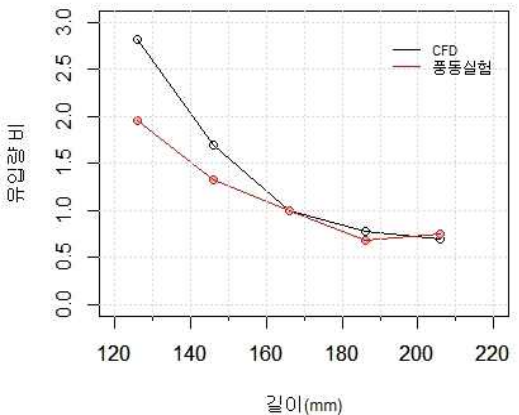


그림 41 길이에 따른 유입량

라는 직관적 예측과 크게 다르지는 않다. 하지만 풍동실험 결과에서 기존 길이와 186mm 사이에서는 감소하지만 206mm에서는 최솟값에 비해 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 아주 작은 값이 증가하였는데, 이는 오차범위 이내인 것으로 보아 186mm 이상의 길이에서는 유입량이 크게 변하지 않는 것으로 보인다. 따라서 유입량을 최소화할 수 있는 길이는 기존 쉴드에서 20mm 늘어난 186mm가 가장 적절하다.

6. 결론

본 연구에서는 배기가스 유입량을 효과적으로 줄일 수 있는 오픈페이스 헬멧의 쉴드 각도와 길이를 찾고자 하였다. 8개의 각도와 5개의 길이에 대해서 CFD를 사용해 결과를 예측하고 풍동실험을 수행하였다. 실험 결과를 분석하여 사용자에게 불편을 주지 않으며 배기가스 유입량을 줄일 수 있는 최적 각도는 -15° , 최적 길이는 기존헬멧 쉴드의 길이 166mm에서 20mm 늘어난 186mm로 선정하였다. 이 때 배기가스 유입량은 각각 40.9%, 32.4% 줄어들었다.

본 연구를 하면서 아쉬운 점은 현실을 완벽하게 재현한 실험 환경을 만들 수 없었던 것이다. 그렇기 때문에 제한된 조건과 가정 하에 실험을 진행할 수밖에 없었다. 본 연구에서 사용한 대표적인 가정 세 가지는 1)헬멧 주위 유동의 속력이 일정하며 2)유동의 방향이 변하지 않고 3)쉴드의 길이와 각도는 배기가스 유입량에 서로 독립적인 영향을 미친다는 것이다. 실제 주행환경에서는 유동의 속력과 방향이 끊임없이 변화하며 헬멧에 입사한다. 유체역학의 복잡한 성격을 봤을 때 만약 유동 조건을 조금만 변화시켜도 그 결과를 예측하기가 힘들다. 따라서 주유동의 속도와 방향이 변하는 환경에 대해서 관련 후속연구가 요청된다.

또한 -15° 와 186mm를 최적의 각도와 길이로 선정하였지만 이 두 값을 조합하였을 때 가장 큰 효과를 낼 수 있다고 하기 위해서는 이 두 변인의 독립성이 보장되어야 한다. 두 변인이 낮은 정도의 상관관계를 가질 것으로 예상되지만 이 역시 유체역학의 특성상 예측만으로 결과를 보장할 수 없기 때문에 후속 연구가 요구된다.

헬멧 제작에 있어서 고려해야 할 요소는 배기가스 차단 효과와 더불어 비용, 안전성, 편의성, 디자인의 심미성 등이 있다. 본 연구는 배기가스 차단 효과 극대화만을 목적으로 진행되었으나 실제 제작은 모든 요소의 효과를 종합적으로 고려하여 이루어진다. 따라서 헬멧과 쉴드 디자인 연구의 최종 목적은 모든 요소를 고려했을 때의 최적 디자인을 찾는 것이다. 본 연구는 배기가스 차단효과에만 관심을 두었기 때문에 안전성 등의 다른 요소는 고려하지 못하였으므로 이 또한 추가적인 연구가 진행되어야 할 점이다.

본 연구에 앞서 밝힌 여러 한계점과 보완점이 존재하는 가장 큰 이유는 관련 선행연구가 전혀 없었기 때문이다. 그렇기 때문에 여러 복잡한 상황에 대한 연구보다는 큰 틀에서 쉴드의 각도와 길이 두 변인에 대한 연구를 진행하였다. 그 결과 쉴드 각도와 길이의 작은 변화로 배기가스 유입의 상당한 감소효과를 확인하였기 때문에 본 연구는 여러 후속 연구가 진행될 수 있는 출발점을 마련한다는 의의가 있다. 쉴드 끝부분의 각도나 길이를 변화시키는 것은 제조공정상의 전환비용이 낮을 것으로 예상되기 때문에 쉴드 제조사에서 본 연구의 결과를 수용할 만한 실용성을 갖고 있을 것으로 보이며 위에서 언급한 점들을 보완할 수 있는 후속 연구가 진행된다면 더 큰 의의를 가질 수 있을 것이다.

7. 참고 문헌

김원 외 4명(2009), 버스와 자전거를 이용한 통근 수단에 따른 PM10 노출량의 비교, 한국

환경보건학회지, 35권 6호.

라승호 외 6명(2002), 오토바이 헬멧에 대한 흐름 가시화 실험, 한국항공우주학회 학술발표회 논문집 1권.

조재웅(2012), 오토바이 형상에 따른 공기의 유동해석, 한국기계기술학회지 14권 1호.

Frank M. White(2010), *Fluid mechanics*, 7th edition, McGrawHill.

Trancossi M., Dumas A., Vucinic D.(2013), Mathematical Modeling of Coanda Effect, *SAE Technical Paper* n. 2013-01-2195.

- 부록 -

//PPD42NJ 관련 상수

```
int pin = 8;
unsigned long duration;
unsigned long starttime;
unsigned long sampletime_ms = 3000;
unsigned long lowpulseoccupancy = 0;
float ratio = 0;
float concentration = 0;
```

//GP2Y1010AU0F 관련 상수

```
int measurePin = 0;
int ledPower = 2;
int samplingTime = 280;
int deltaTime = 40;
int sleepTime = 9680;
float voMeasured = 0;
float calcVoltage = 0;
float dustDensity = 0;
boolean GO=true;
```

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(8,INPUT);
  starttime = millis(); //시간 정보
  pinMode(ledPower,OUTPUT);
}
```

```
void loop() {
```

```
  duration = pulseIn(pin, LOW); //PPD42NJ 펄스 정보 읽기
  lowpulseoccupancy = lowpulseoccupancy+ duration;
```

```

digitalWrite(ledPower,LOW);
delayMicroseconds(samplingTime);
voMeasured = analogRead(measurePin); //GP2Y1010AU0F 전압 정보 읽기
delayMicroseconds(deltaTime);
digitalWrite(ledPower,HIGH);
delayMicroseconds(sleepTime);
calcVoltage = voMeasured * (5.0 / 1024.0);
dustDensity = 0.172 * calcVoltage - 0.0999; //GP2Y1010AU0F 전압 정보를 먼지 농
도로 변환

//블루투스 스위치
if(Serial.available()){
  byte data;
  data = Serial.read();
  if(data=='a'){
    GO=!GO;
  }
}

if ((millis()-starttime) > sampletime_ms&&GO)
{
  ratio = lowpulseoccupancy/(sampletime_ms*10.0);
  concentration = 1.1*pow(ratio,3)-3.8*pow(ratio,2)+ 520*ratio+ 0.62; //PPD42NJ 데
이터를 먼지농도로 변환
  //Serial.print(lowpulseoccupancy);
  //Serial.print(",");
  //Serial.print(ratio);
  //Serial.print(",");
  Serial.print(concentration); //PPD42NJ로 측정된 농도 표시
  lowpulseoccupancy = 0;
  starttime = millis();
  Serial.print(",");
  //Serial.print("Raw Signal Value (0-1023): ");
  //Serial.print(voMeasured);
  //Serial.print(" - Voltage: ");
  //Serial.print(calcVoltage);
  //Serial.print(" - Dust Density: ");
  Serial.println(dustDensity); //GP2Y1010AU0F로 측정된 농도 표시
}

```

}