

풍동시험을 통한 상업용 오토바이 헬멧의 공력 및 환기 특성 비교 Comparison of Aerodynamics and Ventilation Properties of Commercial Motorcycle Helmet by The Wind Tunnel Test

성기룡, 이응재(컴퓨터응용설계과)
Ki Ryong Sung and Eung Jae Lee (Dept. of Computer Aided Design)

Key Words : Wind Tunnel, Flow Ventilation, Smoke Ventilation, Smoke Streamline, Drag Force, Tuft, Oil-Dot

ABSTRACT : The wind tunnel test for the different types of commercial motorcycle helmets has been evaluated to compare the aerodynamics and ventilation properties. The dummy head which is made of engineering plastics based on ISO M size was attached to the helmet in order to create actual flow passage of the inside of the helmet. The mainstream of the test is the flow visualization, aerodynamic force and moment. The flow visualization is to find flow properties for the different type of helmets using tuft, oil-dot, smoke ventilation and smoke streamline. The analysis of the test result affects the design parameters to improve the function of the helmet such as compatibility and safety.

1. 서 론

그동안 국내 산업계에 관련된 풍동 시험은 주로 항공우주산업 분야가 주도하여 수행되었다. 이는 근본적으로 풍동 시험의 주 수요처가 항공우주분야이기 때문이지만 풍동의 용도와 국내 시설에 대해 산업계에서 아직 인식을 하지 못하고 있는 탓도 크다. 최근 들어 산업 안전 및 환경오염에 대한 국내외의 규정이 강화되면서 국내의 비항공우주 분야의 풍동 시험이 날로 비중이 증가되고 있는 추세이다. 2001 풍동 Workshop⁽¹⁾에 발표된 논문은 항공우주와 다른 분야의 비가 이미 3:4에 이르고 있다. 특히 자동차 및 건설 분야는 비교적 많은 투자가 이루어져 국내에 이미 상당한 시험 시설이 존재하며 활발한 시험이 이루어지고 있다. 이외에도 오토바이, 텐트, 구멍정, 표시등, 풍차, 분리대 및 경고판 등의 다양한 비항공우주 분야에 대해서도 풍동 시험이 수행되고 있다. 그동안 국내 산업계에서는 상당수의 시험을 해외의 풍동에서 시행하였는데 외화 유출, 고비용으로 인한 원가 상승, 제품 형상 노출 및 기술 유출 등의 문제가 야기되었다.

관련 업계에 따르면 해외 고급 제품들은 풍동 시험이 설계 시 반드시 거치는 과정으로 인식되어 있다. 그럼에도 불구하고 공개되어 있는 자료는 대부분 헬멧의 구조 및 안전성에 대한 내용이고 공력이나 풍동 시험에 대한 자료는 희귀하다^(2,3). 이는 헬멧 제작사별로 자체적인 시험을 통한 공력 데이터베이스를 구축하고 이를 숨기고 있기 때문인 것으로 보인다. 아직까지 헬멧 주위의 흐름 특성조차 알려져 있지 않아 본 시험에서는 우선 흐름 형태를 파악하는데 주력하였다. 이를 위해 털실, 유점, 연기 배기 및 연기 유선 등의 다양한 흐름 가시화 방법을 사용하여 공기 배기구 및 오토바이 방풍창 (Motorcycle Wind Shield) 등의 영향을 파악하였다. 또한 내부형 풍동저울을 사용하여 형상 및 자세 변화에 따른 6분력을 측정하였다. 본 논문에서는 가시화 시험 위주로 대표적인 결과만을 서술하였다.

2. 시험장치 및 방법

2.1 풍동 및 시험 장치

시험에 사용된 풍동은 한국항공우주연구원 공력성능연구그룹에서 보유하고 있는 1m 아음속 풍동이다. 이 풍동은 항공우주연구원 중형아음속풍동의 Pilot 풍동으로 제작되었으며 그동안 다수의 풍동시험에 사용되어 성능이 입증되었다. 1m 아음속풍동은 폐회로식 풍동으로 시험부 단면적은 1m x 0.75m이다. 효율적인 시험을 위하여 킷놀이각 (Pitch Angle, α), 빗놀이각 (Yawing Angle, ϕ)은 자동으로, 옆놀이각 (Rolling Angle)은 수동으로 조절할 수 있는 모형지지대 (MSS, Model Support System)를 갖추고 있다^(4, 5).

시험모형의 6분력 측정에는 Micro Craft Technology사의 MC-2.5-.75-A 내부형 풍동저울 (Internal Balance)이 사용되었는데 특성은 Table 1과 같다⁽⁶⁾.

Table 1 Standard Loading of Internal Balance

Components	Max. Load	Primary Loading Accuracy ($\pm 1\sigma$)	Max. Loading Accuracy ($\pm 1\sigma$)
Normal Force	250 lbs at 0 Pitching Moment	0.036%	0.25%
Side Force	150 lbs at 0 Yawing Moment	0.029%	0.25%
Axial Force	90 lbs	0.058%	0.25%
Pitching Moment	600 in-lbs at 0 Normal Force	0.035%	0.25%
Yawing Moment	300 in-lbs at 0 Side Force	0.037%	0.25%
Rolling Moment	96 in-lbs	0.091%	0.25%

Fig. 1에는 시험 모형의 설치도를 표시하였다. 헬멧은 Dummy Headform 위에 올라타고 T-Frame에 3점지지 형식으로 고정된다. Dummy Head는 헬멧 내부를 머리 형상으로 채워 실제와 같은 유로를 만들기 위한 것으로 ISO Headform Size M의 규격^(7, 8)을 기초로 엔지니어링 플라스틱으로 제작하였다. Headform 내부에는 공간을 두고 상부에 ϕ 10 mm의 구멍을 다수 뚫어 연기 가시화 시험 시 이용하였다. 알루미늄 재질로 제작된 T-Frame은 풍동저울 덮개에, 풍동저울 덮개는 Balance Adapter에 고정되고, 최종적으로 Balance Adapter는 풍동저울에 앞부분에 장착된다. 풍동저울의 뒷부분은 Sting에 고정되는데 Sting은 시험부 바닥면에 설치된 회전판을 뚫고 MSS에 장착되어 모형의 자세를 조절한다.

1m 아음속풍동의 자료취득 시스템은 하드웨어로는 National Instruments사의 SCXI 시스템을 사용하고 소프트웨어도 역시 National Instruments사의 LabVIEW를 사용하여 구성하였다.

2.2 풍동 시험모형

시험 모형은 헬멧에 고정용 볼트 구멍만 가공하여 그대로 사용하였다. 다만 장착 편의상 헬멧 내부의 스펀지 보호대들은 제거하고 보호용 스티로폼 Shell만 장착한 상태로 수행하였다. 사용된 헬멧은 현재 세계 헬멧 시장을 거의 독점하고 있는 국내 1개사, 일본 2개사 등 3개사의 제품을 선정하였다. 이 헬멧들은 서로 다른 설계 개념에 따라 독특한 형상 및 구조를 가지고 있는데 각각의 특징은 다음과 같다.

- S 헬멧: 전체적인 형상이 가장 공기역학적인 관점에서 설계된 것으로 보이며 두피를 시원하게 하는 공기배기(Ventilation)용 흡입구와 배기구가 전후방에 2군데씩 뚫려있다. 이 4개의 구멍에는 뚜껑이 달려 있어 각각 밀어서 여닫을 수 있다. 또한 입과 양볼 주위에는 전면창(Visor)의 김 서림을 방지하는 흡입구가 3군데 마련되어 있다. 이 헬멧은 타사와 달리 목 뒷부분의 마감부가 약간 바깥쪽으로 돌출된 Tail-Fin 형식인데 양력, 항력 및 소음을 감소시키는

효과가 있다고 한다.

- A 헬멧: 상부에 FFS (Free Flow System)라고 불리는 돌출된 공기배기 장치를 부착한 헬멧이다. FFS는 2개의 확산관 (Diffuser)으로 되어 입구에는 흡입구, 출구에는 배출구가 설치되어 있다. 그러나 분해해본 결과 흡입구 뒷부분이 스펀지로 밀봉되어 있어 확산관 안을 지나는 공기 흐름은 없을 것으로 예상된다. 확산관 사이의 전방에는 또 하나의 배출구가 뚫려있다. 5개의 공기구멍에는 역시 뚜껑이 달려 있어 각각 여닫을 수 있다. 이외에도 눈썹과 입 부근에 김서림 방지용 흡입구가 있으며 전면창 장착부에는 약간 불룩한 뚜껑을 씌운 구조로 되어 있다.

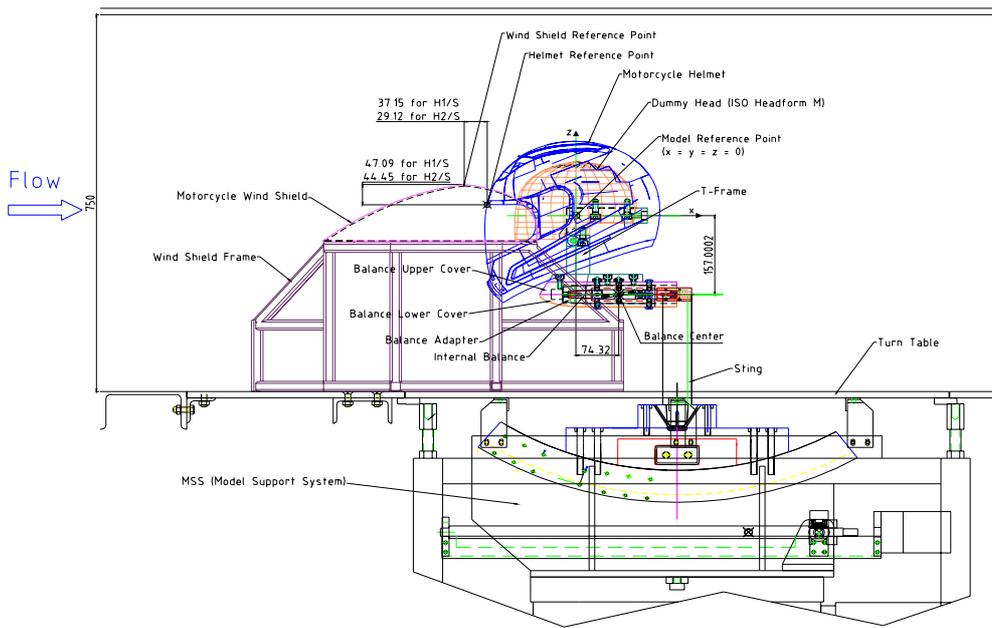


Fig. 1 Configuration of Test Stand

- H1 헬멧: 아직 시중에는 판매되지 않은 개발 중인 제품이다. 두부 상부의 전면에 2개의 흡입구, 후면에 2개의 배출구가 뚫려 있는데 흡입구의 구조는 S 헬멧과 유사하고 배출구는 A 헬멧 형식과 비슷하다. 흡입구에만 2개의 뚜껑이 있고 배기구는 항상 열려 있는 구조이다. 역시 S 헬멧처럼 입 및 양볼 주위에 김서림 방지용 흡입구가 3군데 설치되어 있다.

- H2 헬멧: A 헬멧의 확산관이 아주 납작해진 것 같은 모양의 흡배기구가 두부에 4개 설치되어 있다. 그러나 A 헬멧과 같이 별도의 확산관을 부착한 것이 아니고 헬멧 자체에 불룩한 형태를 만들어 전후에 돌출부를 부착한 것이다. 후방의 배기구는 닫을 수 없으며 전방의 흡입구는 동시에 2개를 같이 여닫는 구조이다. 입 및 양볼 주위에 김서림 방지용 흡입구가 3군데 설치되어 있는데 다른 헬멧에 비해 상대적으로 크다.

실제 주행 시에는 운전자가 오토바이 방풍창 뒤에 머리를 위치하기 때문에 실제 상황을 제대로 모사하기 위해서는 방풍창의 설치가 필수적이다. 시험용 방풍창은 실제 오토바이의 방풍창을 간이로 제작한 프레임 위에 설치하여 사용하였다.

2.3 시험조건

풍동 시험은 가시화 시험 (Flow Visualization)과 힘과 모멘트를 측정하는 6분력 시험으로 나누어진다. 가시화 시험은 각 헬멧의 형상 변경에 따른 공기배기 성능과 흐름 특성을 파악하기 위한 것으로 털실 (Tuft), 유점 (Oil-Dot), 연기 배기 (Smoke Ventilation) 및 연기 유선 (Smoke Streamline) 등의 다양한 방법을 시도하였다. 시험의 기준 속도는 오토바이 경주의 평균 속도를 고려하여 74 m/s로 하였는데 연기 가시화의 경우에는 사진 촬영의 문제로 배기 시험은 10, 유선 시험은 15 m/s로 하였다.

6분력 시험은 형상 변화에 따른 공력 계수 값들을 내부형 풍동저울로 측정하였다. 가시화 시험은 대표적인 키놀이각 및 빗놀이각에 대해서만 수행하는데 비해 6분력은 키놀이는 $-6^\circ \leq \alpha \leq 6^\circ$, 빗놀이는 $0^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$ 에 대해 시험하였다. 시험 속도는 모형의 진동 문제로 인해 45 m/s로 낮추었다.

시험에 사용된 형상은 2.2절에 소개한 4가지 헬멧의 코드에 Table 2에 표시한 공기 배기구의 개폐 여부 및 방풍창의 설치 여부를 나타내는 형상을 덧붙여 표시한다. 6분력 측정 시에는 노출된 풍동저울 덮개의 영향을 조사하기 위하여 모형이 없는 경우 (코드 N, No Model)도 추가하였다. 예를 들어 H2/V는 H2 헬멧의 공기 배기구를 개방한 형상을 의미하며, 이 형상은 레이놀즈수 (Reynolds Number)에 의한 영향을 조사하기 위해 15, 25 m/s에서도 6분력을 측정하였다.

Table 2 Configuration of Test Model

Code	Configuration
/V	with Ventilation
/S	without Ventilation, with Wind Shield
/S/V	with Ventilation and Wind Shield

3. 시험 결과

3.1 가시화 시험 결과

털실을 사용한 가시화는 헬멧 표면에 털실을 부착하여 흐름 방향에 따른 실의 운동을 관찰하는 시험이다. 여기서는 탈부착이 용이하도록 일반 자수용 실을 20~30 mm 정도의 길이로 잘라서 끝 부분의 5 mm 정도를 3M 매직 스퀘어 테이프에 부착하고 이를 헬멧 표면에 부착하여 사용하였다. 이 방법은 준비 과정에 상당한 노력이 필요하나 일단 부착되면 비교적 견고하므로 모형의 자세를 바꾸어가며 장기간 사용할 수 있다. 그러나 털실은 속도가 큰 경우에만 반응하므로 대략적인 표면 유선의 경향만 파악할 수 있다. 특히 박리 구역 내부나 흐름 박리선을 관측하기에는 정확하지 않아 주의가 필요하다. 본시험에 앞서 형상 및 자세에 따른 대략적인 변화 경향을 파악하는 것이 이 시험의 주목적이다.

Fig. 2에 주요 형상에 대한 털실 가시화시험 결과를 표시하였는데 이 방법은 털실의 운동을 보고 판단해야 하므로 박리구역을 사진으로 찾기는 힘들다. 시험 결과를 보면 전반적으로 S가 모든 자세에 대해 박리 구역이 가장 작으며 H1이 가장 큰 박리 구역을 보였다. 키놀이각에 따른 변화를 살펴보면 전체적으로 -6° 와 0° 의 차이는 적으며 6° 는 상당한 차이를 보인다. 빗놀이만 준 경우에는 모든 헬멧이 비슷한 정도의 박리 구역을 가지는 것으로 보인다. 오토바이 방풍창을 설치한 시험은 H1, H2에 대해서만 실시하였는데 흐름 경향이 완전히 달라졌다.



(a) S ($\alpha = 0^\circ, \psi = 90^\circ$)



(b) A ($\alpha = 6^\circ, \psi = 0^\circ$)



(c) H1/S ($\alpha = -6^\circ, \psi = 0^\circ$)



(d) H2 ($\alpha = 0^\circ, \psi = 0^\circ$)

Fig. 2 Results of Tuft Visualization

유점 가시화 방법은 시험 물체 표면에 착색된 기름방울을 주사기로 부착한 후 흐름에 의한 기름의 이동을 보고 표면 유선을 판단하는 방법이다. 이는 털실 가시화에 비해 보다 정확하게 흐름의 방향을 파악할 수 있고 크기도 가능할 수 있는 이점이 있다. 그러나 일회성이므로 시험 조건이 바뀌면 매번 새로 닦아 내고 준비해야 하므로 상당히 번거롭고 시간이 많이 걸린다. 또한 조건에 따라 기름의 점도를 적절히 조절하여야 원하는 유선을 볼 수 있어 많은 시행착오가 필요하다. 사용된 유점은 신한 유성물감을 LG-Caltex Oil의 ATF Dexron III 자동차 변속기 오일에 섞어 2가지의 점도로 만들었다. 실제 시험은 두 번으로 나누어 시행하였는데 털실 가시화를 통하여 파악한 박리구역의 위치를 기준으로 우선 고점도유로 비박리구역을 시험한 후 다시 박리 구역을 저점도유를 사용하여 시험하였다. 유점들은 시험 후에도 굳지 않는데 시험 의뢰자가 추후에 참조하기 위해서는 유선 형태를 그대로 유지할 필요가 있었다. 이를 위해 시험 후 모형을 납방화공 Nabakem Metal Coat K-980⁽⁹⁾으로 보호막을 코팅하여 유선 형태를 보존하였다.

Fig. 3의 유점 가시화 결과를 보면 털실 가시화로 유추했던 흐름 형태를 보다 명확히 보여준다. S/V는 돌출부가 다른 헬멧에 비해 작아 박리구역까지의 유선이 다른 헬멧에 비해 매우 깨끗하며 상당히 안정적이다. 후방에 바깥쪽으로 돌면서 떨어져 나가는 좌우 대칭형의 큰 와류(Vortex) 2개가 보인다. A/V는 많은 돌출부에 비하면 박리구역의 크기는 S/V에 비해 그다지 크지 않다. 후방의 흐름은 두부 및 목 주위의 배기관으로 인해 다소 복잡한데 와류의 크기는 S

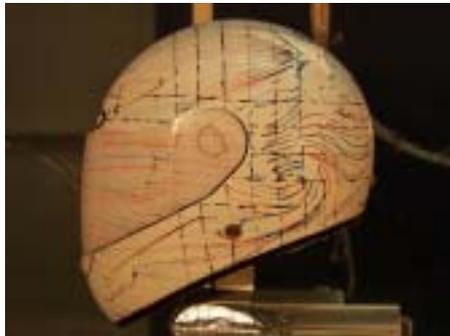
에 비해 매우 작아졌다. H1/V를 보면 헬멧 전면의 창을 지나면서 매우 큰 박리 구역이 생기는데 털실 가시화에서 짐작했던 것보다 훨씬 크다는 것을 확인할 수 있었다.



(a) S/V ($\alpha = 0^\circ, \psi = 0^\circ$)



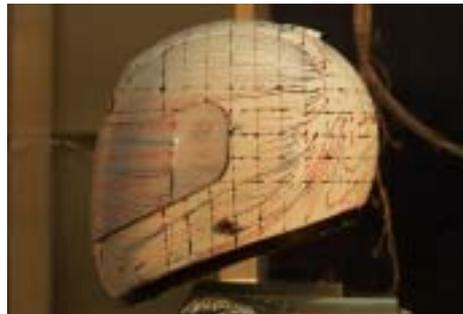
(b) A ($\alpha = 0^\circ, \psi = 0^\circ$)



(c) H1/V 측면 ($\alpha = 0^\circ, \psi = 0^\circ$)



(d) H1/S/V ($\alpha = 0^\circ, \psi = 0^\circ$)



(e) H2 ($\alpha = 0^\circ, \psi = 0^\circ$)



(f) H2/S/V ($\alpha = 0^\circ, \psi = 0^\circ$)

Fig. 3 Results of Oil-Dot Visualization

측면 귀 아랫부분에는 시계반대 방향으로 회전하는 매우 큰 와류가 박리되며 귀 부분에는 시계 방향으로 회전하는 작은 와류가 보인다. 헬멧 후방의 흐름도 상당히 복잡한데 주도적인 흐름은 위에서 언급한 측면의 큰 와류로 빨려 나가는 흐름이며 배기구 중앙에는 반시계 방향으로 회전하며 박리되는 와류가 단독으로 형성된다. 이 와류 아랫부분의 흐름은 아래쪽으로 흘러 내려 박리되며 배기구 바로 뒤에는 흐름이 거의 없다. H1/S/V에서는 방풍창이 대부분의 흐름을 막아주어 헬멧의 유선이 거의 달라진다. 전면 상부의 흐름 구분유선 (Dividing Streamline)

은 공기 흡입구보다 더 위로 올라가 버리고 헬멧 창 위 부분에 작은 박리 구역이 생기나 대부분의 흐름은 아래 방향이다. 상부를 지나는 흐름은 H1/V와 비슷하나 가장자리가 상당히 좌우로 퍼지며 흐른다. 측면과 후방부의 흐름은 H1/V와 비슷한 와류의 존재를 암시하는 데 매우 작다. H2/V는 방풍창이 없는 경우에는 전반적으로 S/V와 유사한 특성을 보이고 있으며 후방에 생성되는 2개의 대칭형 와류도 비슷하다. H2/S/V의 경우에는 H1/S/V와 전반적으로 비슷한 형태를 보이나 헬멧 상부를 지나는 흐름이 좌우로 매우 심하게 퍼져 귀 부근까지 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 또한 상부의 흐름이 배기구 후방부까지 상당히 퍼져 나간 후 박리 되었다. 공기배기구를 막은 상태에 대해서도 역시 유점 가시화를 실시하였으나 차이가 거의 없었고 유출되는 공기량이 미미함을 알 수 있었다.

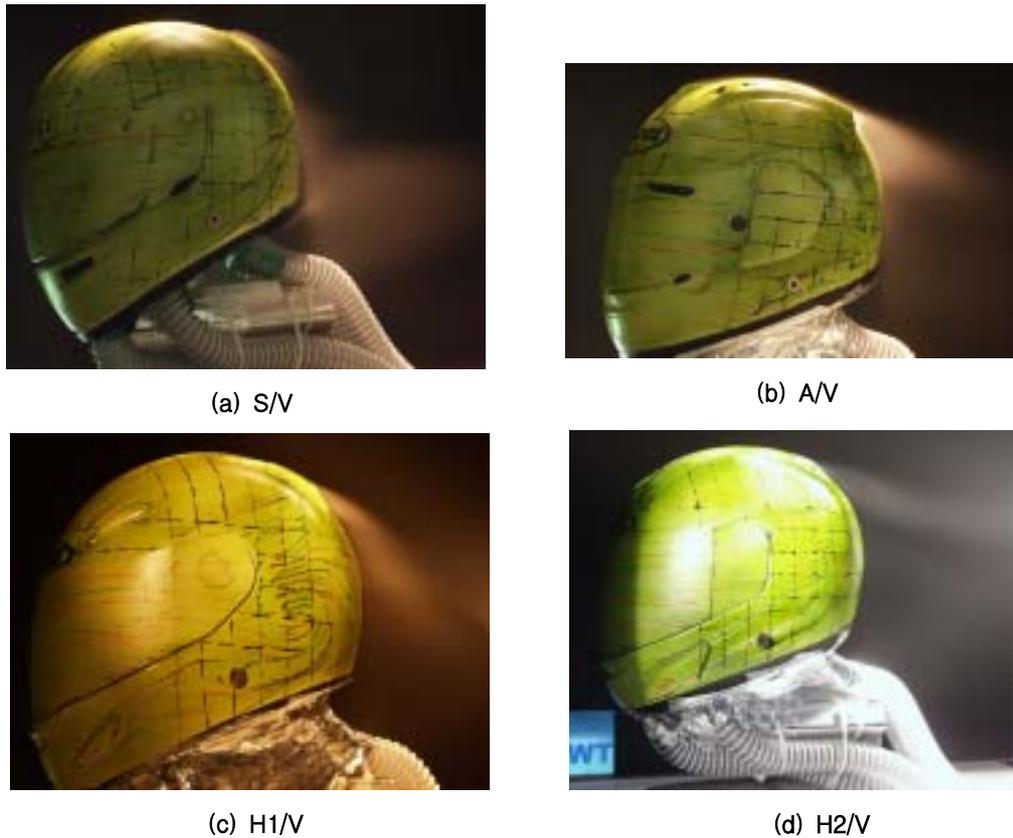


Fig. 4 Results of Smoke Ventilation Visualization

연기 배기 가시화시험은 공기 배기 장치들의 성능을 비교하기 위한 시험이다. Dummy Head는 아래면 전방에 3개, 후방에 2개의 연기 호스 연결 구멍이 뚫려 있고 이 곳으로 공급된 연기는 상부의 작은 구멍들을 통하여 배출된다. 연기 발생원으로는 AEROTECH Smoke Generator와 TSI Six Jet Atomizer를 사용하였다. Smoke Generator는 파라핀유를 태워 연기를 발생시키며, Atomizer는 올리브유 입자를 분무한다. 두 개의 연기 발생원을 사용했음에도 연기량이 매우 부족하여 별도의 연기 상자를 만들어 사용하였다. 연기 상자의 크기는 1200 x 1200 x 350 mm인데 대략 3~5 분이면 연기가 다 빠져 버려 다시 찰 때까지 기다렸다가 반복 시험하였다. 시험 속도는 10 m/s이었는데 이 이상 속도에서는 연기량이 부족하고 본격적인 촬영시스템이 갖추어지지 않아 사진 촬영이 곤란하였다. Fig. 4에 각 시험 결과를 표시하였는데 사진의 헬멧

이 녹색으로 보이는 것은 유점 보호용 코팅제를 뿌렸기 때문이다. 사진 촬영 시의 노출, 광도 및 위치 등의 조건이 다르므로 사진으로 구분하기는 명확하지 않으나 비디오 및 관측 결과를 종합하면 연기 배기량의 크기는 $A/V \gg S/V \approx H1/V > H2/V$ 의 순서로 나타났다. 특히 A/V는 후방뿐 아니라 전방 가운데의 배출구에서도 상당량의 연기가 배출되어 FFS의 성능이 월등함을 확인할 수 있었다. A와 2위 그룹간의 차이는 상당하며 H2/V의 배기 장치는 거의 역할을 못하는 것으로 보여 전반적인 개량이 요구된다.

연기 유선 가시화는 시험 모형 주위에 AEROTECH Smoke Generator로 연기를 흘려보내면서 유선을 관찰하는 시험이다. 시험 속도는 15 m/s인데 추후 보다 본격적인 가시화 촬영시스템이 갖추어지면 보다 고속에서 개선된 영상을 얻을 수 있을 것이다. Fig. 5에 각 형상에 대한 대표적인 결과를 표시하였는데 털실 및 유점과 같은 표면 유선 가시화 결과에서 추론된 헬멧 주위의 흐름 형태를 확인할 수 있다.

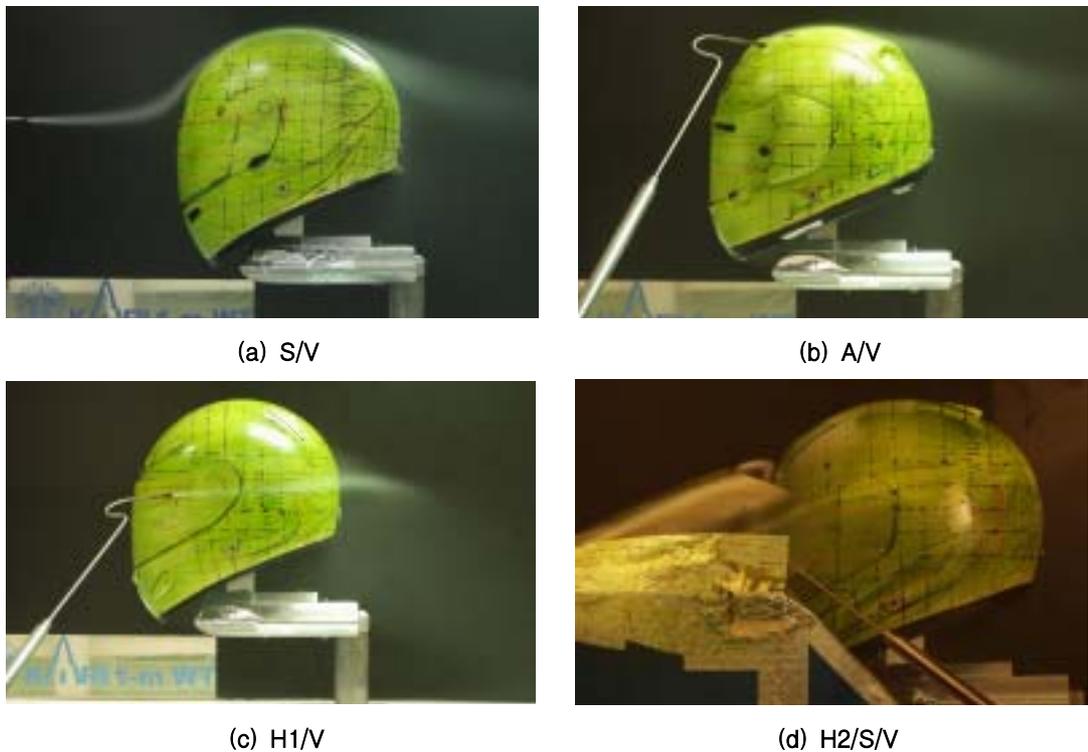
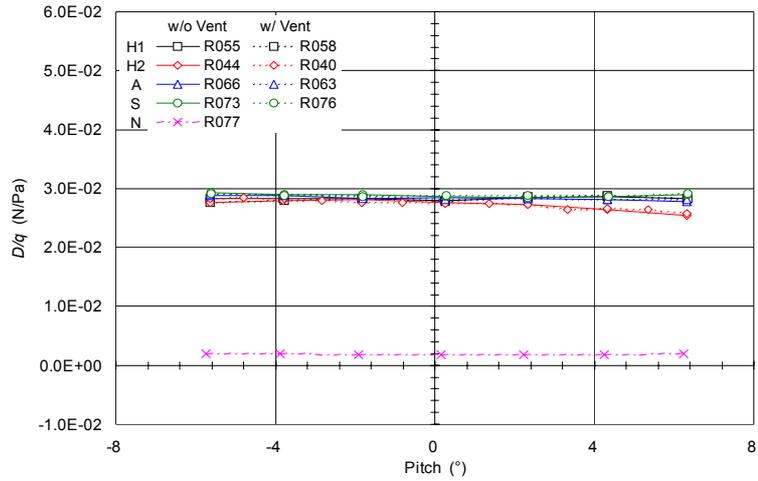


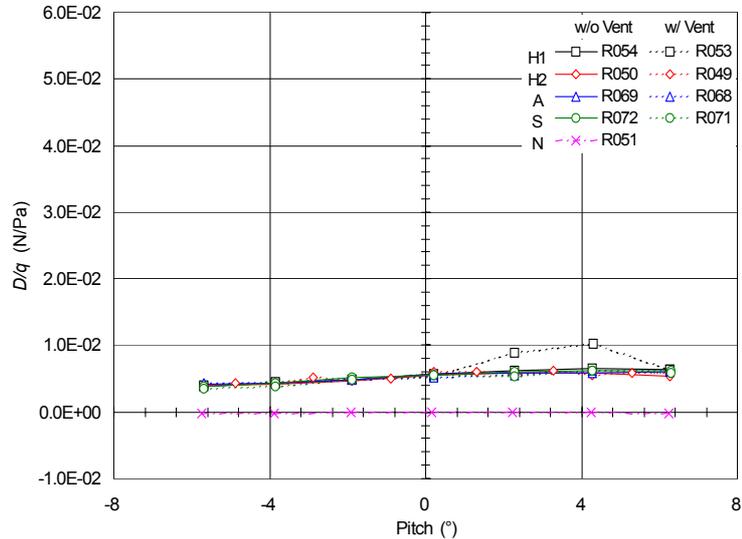
Fig. 5 Results of Smoke Streamline Visualization

3.2 6분력 측정 시험 결과

시험 모형의 기준점은 Fig. 1에 표시한 Dummy Headform의 기준점 (Reference Point, $x = y = z = 0$)이며, 측정된 자료들은 모멘트 중심점 (Moment Center)을 위의 모형 기준점에 대해 바람 좌표계 (Wind Axis)로 변환하여 처리하였다. 시험은 6분력을 전부 측정하였으나 여기에는 항력 측정 결과만 표시하였다. Fig. 6에 기울이각에 따른 항력의 변화를 보였는데 헬멧들의 제원이 알려져 있지 않아 무차원 항력 계수 대신 항력(D , Drag)을 동압 (q , Dynamics Pressure = $\frac{1}{2} \rho V^2$)으로 나눈 값을 표시하였다.



(a) Without Wind Shield



(b) With Wind Shield

Fig. 6 Drag Force vs Pitch Angle

방풍창이 없을 때 배기구의 영향은 미미하며 H2, H2/V를 제외하고는 키놀이각의 영향도 매우 작다. 풍동저울 덮개의 항력은 0.002 N/Pa 정도이며 이를 포함한 헬멧의 항력은 0.026~0.029 N/Pa 사이로서 $H1 \geq H2 > A > S$ 순이었다. 방풍창이 있는 경우의 덮개 항력은 1 Count 이하의 무시할 만한 값이며 헬멧 항력은 0.003~0.004 N/Pa 정도이며 $S > A > H1 \approx H2$ 의 순이다. 배기구의 영향은 역시 미미하며 키놀이 각의 영향은 약간 나타나는데 이는 자세에 따라 노출 면적이 달라지기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 7에는 구에 대한 시험자료⁽⁹⁾와 키놀이각이 영일 때의 항력계수 값을 비교하여 표시하였다. 이때 전면 단면적 (Frontal Section Area, A) 값은 유일하게 알려진 H2의 값을 모든 헬멧에 대해 사용했으며 레이놀즈수 계산을 위한 유효 반경 (Effective Diameter = $\sqrt{\frac{4A}{\pi}}$) 계산

시에도 H2를 기준으로 하였다. 잘 알려져 있듯이 구는 레이놀즈수가 $10^5 \sim 10^6$ 인 구간에서 흐름이 층류에서 난류로 바뀌면서 항력계수가 0.47에서 0.1 이하로 급격히 감소한다. 이 천이 과정은 그림에 보듯이 흐름의 난류도와 표면 거칠기에 많은 영향을 받는데 표면이 거친 경우에는 천이가 보이지 않기도 한다. 헬멧의 경우에 방풍창이 없는 경우는 층류 상태의 구와 비슷한 값을 보이며 뚜렷한 천이 현상은 보이지 않는데 이는 거친 구와 비슷하다. 방풍창을 설치한 경우에는 난류 구 이하의 값으로 감소하며 방풍창이 없는 경우보다 헬멧별로 차이를 보였다.

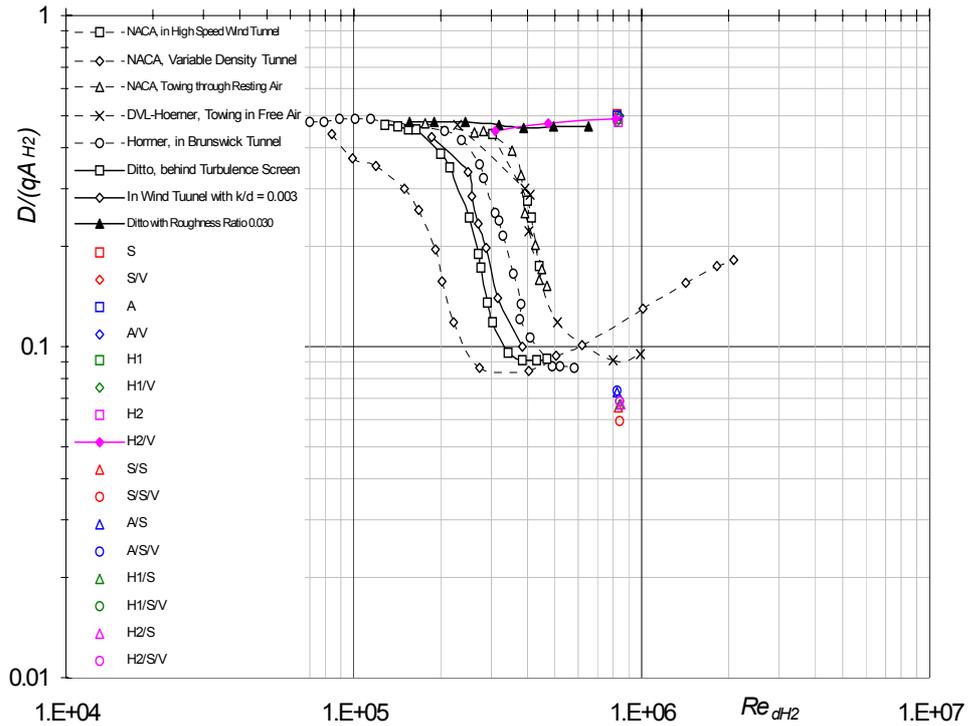


Fig. 7 Comparison with Sphere Case⁽¹⁰⁾

Fig. 8에는 빗놀이에 따른 항력 변화를 표시하였는데 각도에 따른 항력 증가율을 보면 $S > H2 \approx H1 > A$ 의 순이다. 앞의 경우와 마찬가지로 배기구의 영향은 크지 않았다.

4. 결 론

4가지 형태의 헬멧에 대하여 흐름 형태와 공력 특성을 파악하기 위한 풍동 시험을 수행하였다. 헬멧 주위의 흐름 형태는 표면 흐름 및 연기 가시화 기법을 이용하여 조사하였으며 6분력 은 내부형 풍동저울로 측정하였다.

- (1) 표면 흐름을 털실 및 유점으로 가시화하여 헬멧의 흐름 특성을 확인하였다. 털실 기법은 반복 사용이 가능하여 자세별 윤곽을 파악하는데 적합하며 유점 가시화는 정밀한 유선 관찰이 가능하나 일회용이다.
- (2) 배기 장치의 성능을 연기 배기 가시화 방법으로 비교하였는데 $A/V \gg S/V \approx H1/V > H2/V$ 의 순서로 나타났다.

- (3) 헬멧 주변의 흐름을 연기 유선으로 가시화하여 흐름 특성을 확인하였다
- (4) 가시화 결과를 종합해 볼 때 S 헬멧이 가장 박리 구역이 적고 공기역학적으로 안정된 흐름 형태를 보인다.
- (5) 방풍창이 있는 경우에는 흐름 형태가 매우 달라지는 것을 가시화로 확인하였다.
- (6) 방풍창이 없는 경우의 항력은 천이되기 전의 구와 비슷한 크기이며, 방풍창이 있는 경우는 천이된 구보다도 작은 값으로 감소하였다.
- (7) 전반적으로 배기 장치가 흐름 형태 및 공력에 미치는 영향은 비교적 적다.

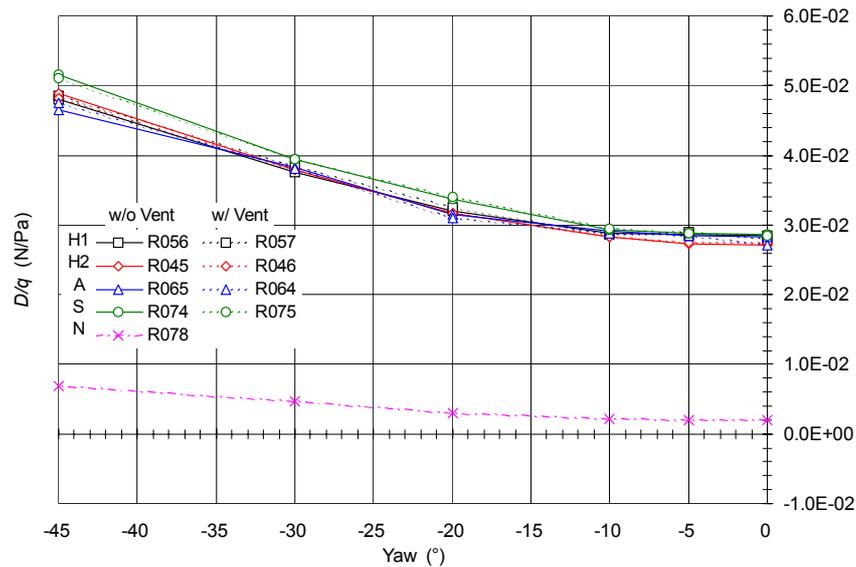


Fig. 8 Drag Force vs Yaw Angle

참고문헌

- (1) 한국항공우주연구원 공력성능연구그룹, 2001, 2001 풍동 Workshop 논문집, 6. 1-2, 한국항공우주연구원
- (2) Joe Bloggs, "Product Comparison: Premium Helmets: Seven High-End Lids Hit the Racetrack, Interstate, and Wind-Tunnel," *Motorcycle Consumer News*,
- (3) 라승호, 정진덕 외, 2001, "오토바이 헬멧 풍동시험," KARI-AD-TM-2002-001-v.1-rev.1, 한국항공우주연구원 공력성능연구그룹
- (4) 한국항공우주연구원 공력성능연구그룹, <http://aero.kari.re.kr>.
- (5) 성봉주, 라승호 외, 1993, "아음속풍동 개발 (IV)," UCN0350-48, 한국항공우주연구소
- (6) Micro Craft, 1996, "Calibration Report Balance MC-2.5-.75-A," *Micro Craft Technologies*
- (7) "Protective Helmets," 1972, *ECE Regulation No. 22*, Issue 1, June 1
- (8) Leslie G. Farkas, 1994, "*Anthropometry of the Head and Face*," Raven Press
- (9) 남방 CNA 주식회사, <http://www.nabakem.com/>.
- (10) S. F. Hoerner, 1965, "*Fluid-Dynamic Drag*," published by the Author