

루프 박스의 형상별 차량 주위에서의 유동에 관한 융합 연구

오범석, 조재웅*
공주대학교 기계자동차공학부 교수

A Convergence Study on the Flow near Vehicle by the Configuration of Roof Box

Bum-Suk Oh, Jae-Ung Cho*
Professor, Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약 본 연구에서는 차량의 루프에 장착되는 다양한 종류들의 루프 박스 모델들에 대한 자동차 주위에서의 유동해석을 하였다. 유체의 흐름 및 압력 해석을 통하여 어떠한 모델이 운행에 있어서 더 적합한지에 대하여 고찰하였다. 4종류의 모델은 각자의 모양을 가진 모델 1, β , γ 및 δ 로 설정하여 설계를 하였고 주행 속도는 20m/s로 설정하였다. 모델 β 의 경우는 압력이 다른 모델에 비해 가장 크게 나오고, 모델 δ 는 유선형의 구조인 카누를 장착하여 루프 박스들 중에는 가장 낮은 압력을 가진다는 것을 확인하였다. 본 연구결과를 토대로 얻은 루프박스의 내구성 있는 설계데이터를 활용함으로써 실생활에서의 차체에 융합하여 그 미적 감각을 나타낼 수 있다.

주제어 : 차량, 지붕, 루프박스, 카누, 유동해석, 공기저항, 융합

Abstract In this study, the flow analysis around vehicle was carried out on various kinds of roof box models installed at the roof of vehicle. Through the analysis of fluid flow and pressure, we investigated which model was more suitable for driving. The four types of models were designed with their respective shapes of models 1, β , δ and γ , and the driving speed of car was set as 20 m/s. It was confirmed that the pressure for model β became greatest compared to other models. And model δ has the lowest pressure among all models of roof boxes by installing a canoe with the structure for cable type. As the design data with the durability of roof box obtained on the basis of this study result are utilized, the esthetic sense can be shown by being grafted onto the car body at real life.

Key Words : Car, Roof, Roof box, Canoe, Flow analysis, Air resistance, Convergence

1. 서론

최근 우리나라 에너지의 이용현황을 살펴보면 대체로 화석연료인 석유 에너지에 의존하고 있고, 총 에너지 사용량의 약 18%가 수송용으로 쓰이고 있다. 최근 지식경제부에서는 불요불급한 에너지의 사용을 우선 제한하는

‘에너지사용의 제한에 대한 공고’를 고시한 바 있다. 수송 부문에서 자가용의 에너지소비 비중이 증가하는 추세에서 차량의 에너지효율 관리가 중요해지고 있다. 여가와 캠핑을 즐기는 인구의 증가로 SUV와 추가적인 차량장착물의 수요가 크게 늘고 부피가 큰 캠핑용품이나 여가용품을 차량 상부에 장착 혹은 짐을 추가로 적재하기 위한

별도 장비를 마련하고자 하는 운전자들이 증가하고 있습니다. 대표적으로 차량 상부의 루프박스나 자전거를 장착하고 사용하는 경우를 볼 수 있는데, 루프박스의 경우 유동 저항을 고려하여서 대부분 유선형으로 제작된다. 하지만 자전거의 경우 차량의 루프 캐리어(Roof carrier)에 직접적으로 장착하는 방식이 널리 이용된다. 이로 인해 상당한 저항이 추가될 것으로 예상된다. 선행연구[1-5]를 통하여 유선형 형태의 차량이 주행 중에 받는 공기는 역학적 저항력 중 대략 65%가 차량 정면에 작용하고, 형상저항(Form drag)에 해당된다. 나머지 35%의 경우는 차량 후방에서 발생하는 후류의 와동(Wake vortex)에 의해 유도저항(Induced drag)에 큰 영향을 끼친다. 이러한 관점에서 차량 상부에 설치한 루프박스의 경우 표면적은 작지만 불균일한 3차원적 돌출 형상을 하여 루프박스 후방에 비교적 강한 후류가 형성되며, 강한 유도저항의 발생이 예상된다. 본 연구는 루프박스와 카누에 유선형 덮개(Fairing)를 씌워 항력을 줄이는 법을 제안하였다. 차량 루프박스의 형태에 따른 유동장의 변화를 보고 해석하기 위해 시중에서 쉽게 구할 수 있는 모델을 선정하였고, 실 크기와 비슷한 크기로 모델링하여 해석 프로그램인 Ansys를 이용하여 시뮬레이션 해석을 수행하였다[6-9]. 또한 해석 결과를 통하여 설계에 적용하였을 때 실제 실험을 하지 않고도 예측되는 결과를 잘 검증할 수가 있어서 본 논문 결과를 유용하게 사용할 수 있다고 사료된다. 본 연구결과를 토대로 얻은 루프 박스의 형상별 차량 주위에서의 유동에 관한 융합 연구에 대한 설계데이터를 활용함으로써 실생활에서의 자동차 부품에 융합하여 그 미적 감각을 나타낼 수 있다[10-13].

2. 연구모델과 해석결과

2.1 연구모델들

본 연구를 위하여 Fig. 1과 같이 CATIA V5를 이용하였고, 3가지 종류의 모델링을 하였다. 차량의 기본모델은 길이 3600mm, 높이 1600mm, 폭 1600mm으로 모두 동일하고, 상부에 장착물이 없는 것과 가장 큰 루프박스의 형태, 2번째로 큰 형태의 루프박스 그리고 카누를 모델링하였다. 본 논문의 해석 모델의 차량과 장착물의 경우 공기의 흐름과 압력을 보는 것이 주목적이므로 모양과 크기를 단순화하였다.

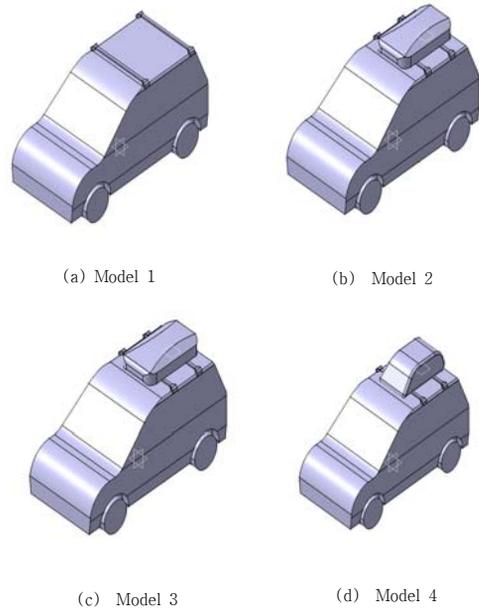


Fig. 1 Study models

본 해석 연구를 위해 모델링한 차량은 주변의 공기의 체적이 필요로 한다. Fig. 2와 같이 CATIA를 이용하여 차량 주변의 공기 체적을 길이 14300mm, 높이 4125mm 폭 4000mm 를 형성하였다. 그리고 Table 1은 4개의 모델들에 대한 요소수와 절점수들을 나타낸다.

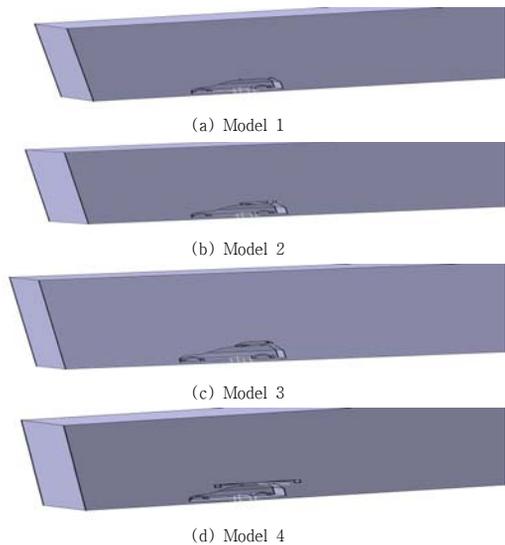


Fig. 2. Models with air volumes

Table 1. Numbers of Elements and Node and Meshes of Model 1, 2, 3 and 4

Model	Elements Number	Node Number
Model 1	122458	24410
Model 2	124975	25135
Model 3	125133	25268
Model 4	130144	26329

2.2 모델들의 경계조건

본 연구에서는 지배방정식은 Continuity방정식으로 해석을 진행하였고, Shear Stress Transport 난류 모델의 레이놀즈수에 적용성이 범위가 넓기 때문에 Shear Stress Transport 모델로 선정하여 지배방정식으로는 Reynolds_averaged and Navier-Stokes Equation을 이용하여 Steady State로 해석을 하였다[14-15].

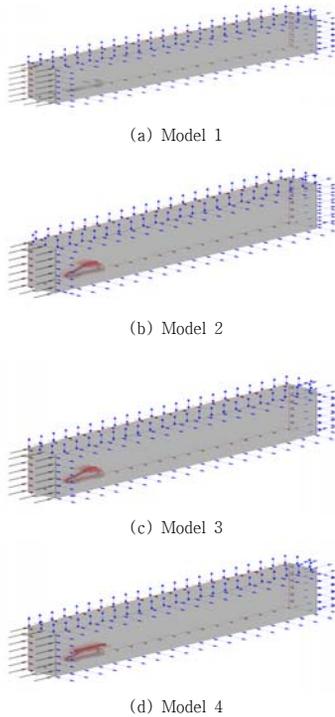


Fig. 3. Boundary conditions of models

Fig. 3은 각 유체모델들에 대한 경계조건을 나타내었다. 25°C의 공기를 사용하였고 Inlet 부분에는 -V 방향으로 20m/s의 속도를 가하였고, 차량의 표면에는 Wall의 조건으로 하였다. 그리고 유체모델의 측면들 및 윗면에는 Opening의 조건으로 하였고, 유체 모델은 좌우 대

칭으로서 절반의 부분을 가지고 유동 해석을 진행하였다.

2.3 해석 결과

Fig. 4는 각 모델의 공기 유속의 크기와 같이 방향을 나타내는 속도 Vector들이 표현되어 있다. Model 1의 경우는 사람의 머리 위부분에서 속도가 26.069m/s로 가장 높은 속도가 나타났으며, Model 2의 경우에는 부착물과 사람머리 부분사이 중에 윗부분에서 속도가 26.519m/s로 가장 높은 값이 나타났다. 또한 Model 3에서도 마찬가지로 부착물과 사람머리 사이 윗부분에서 26.506m/s로 가장 높게 나타나는 것을 확인하였다. Model 1, 2 및 3의 3가지 모델들을 보면 부착물과 사람머리 사이에서 26m/s에서 27m/s사이의 속도로 가장 높게 공통적으로 나타나는 것을 확인하였다. Fig. 5는 차량 중간의 속도 분포를 보여준다. Fig. 5에서는 Fig. 4에서와 같이 부착물과 사람머리 사이에서 가장 높은 속도가 나타났다. Fig. 8의 경우에는 24m/s에서 26m/s 사이의 속도가 나타난다는 것을 확인하였다.

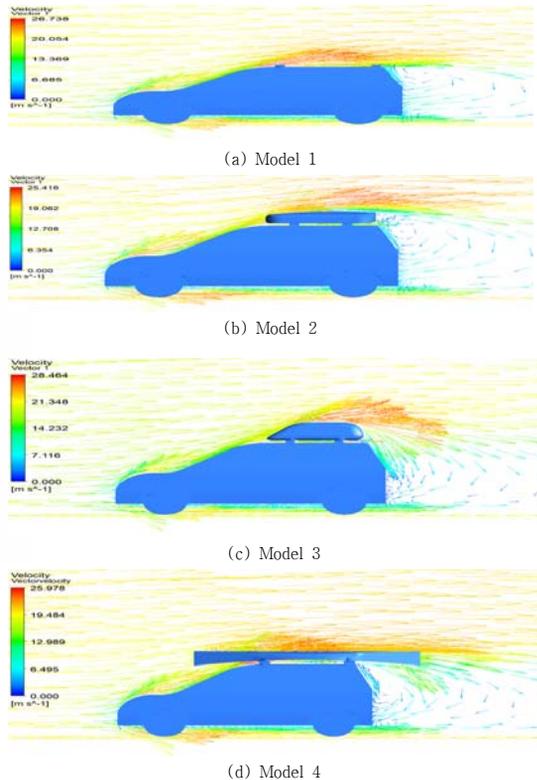


Fig. 4. Contours on flow velocity vectors of models

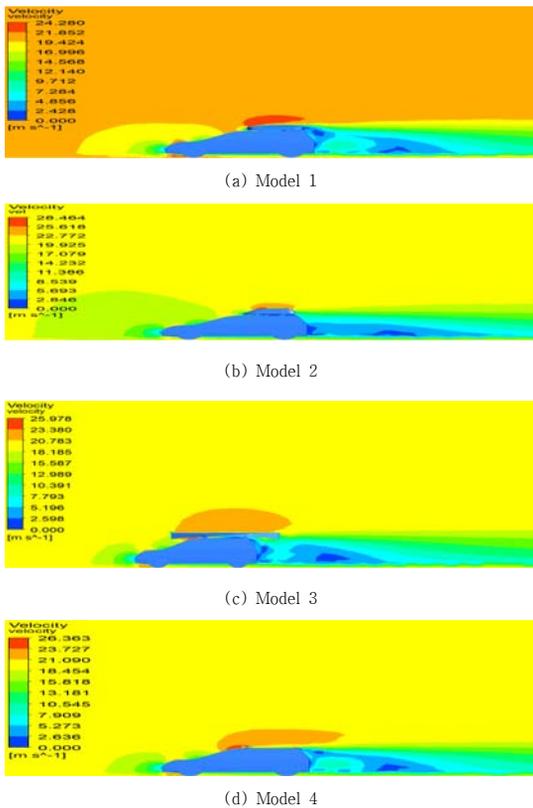


Fig. 5. Contours on flow velocities of all models

Fig. 6에서는 각 모델의 공기 흐름을 나타내는 stream line들이다. Fig. 9와 같이 Model 1에 대해서는 유동의 흐름들이 비교적 균등하지 않고 외곽으로 치우쳐져 있다. 마지막 부분에서는 규칙적이 지 못한 흐름을 보였다. Fig. 6와 같이 Model 2의 흐름은 Model 1와 비슷하게 규칙적이 못한 패턴을 보였으나 마지막 부분들이 Model 1에 비하여 비교적 균등한 흐름들을 보였다. Model 3의 흐름은 Model 1나 2와는 달리 규칙적인 패턴의 흐름을 보여졌다. 또한 최대 및 최소 유동을 Model 별로 비교를 하여 보면 Model 1, 2 및 3의 경우, 각각 26.66m/s, 26.519m/s 및 27.322m/s로 흐름들의 차이가 나타났다. 3가지 모델들의 흐름을 볼 때, Model 1가 가장 균등한 흐름을 보였으며 그 다음이 Model 2, Model 3 순 이었다.

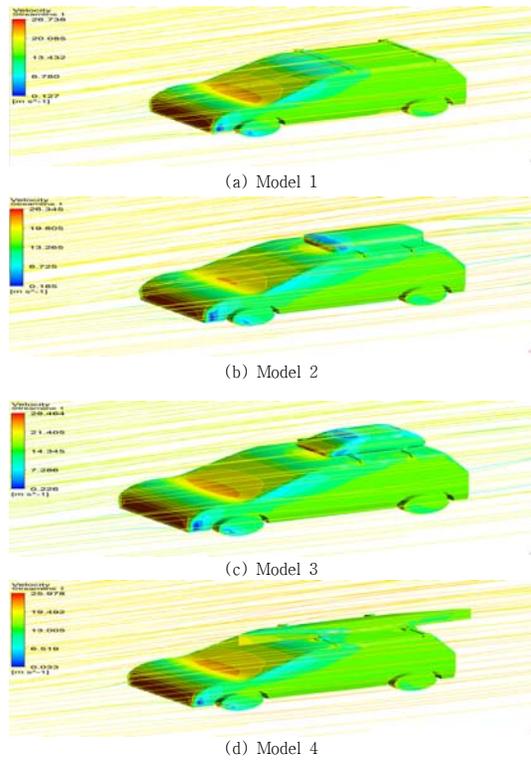
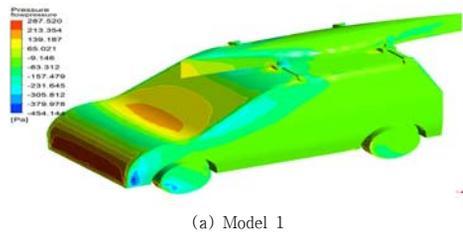


Fig. 6. Stream lines of all models

Fig. 7 및 Fig. 8은 공기 저항에 대해서 압력이 생기는 부분에 대해 등고선으로 나타낸 그림들이다. 3가지 모델의 공기 저항 압력은 차량의 앞부분 형상에서 최대 압력이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 각각의 Model 1에서는 255.173Pa, Model 2에서는 254.40Pa, Model 3에서는 262.671Pa의 최대 압력들이 나타나는 것을 확인할 수 있다. Model 1, 2 및 3의 3가지 모델들의 앞부분에서 254Pa에서 263Pa사이에 공기저항 압력이 최대로 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



(a) Model 1

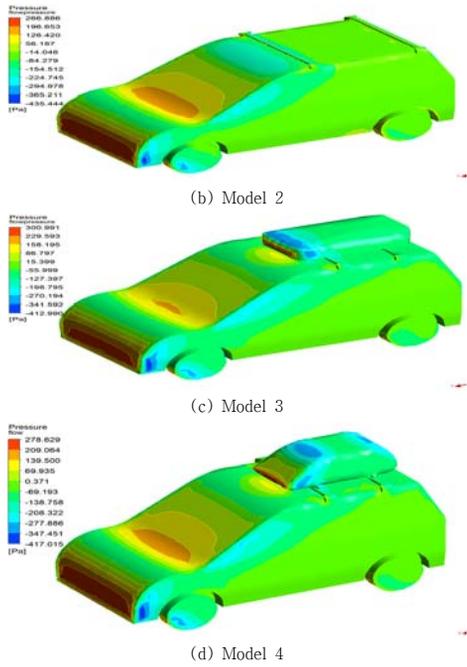


Fig. 7. Contours on flow pressures of models

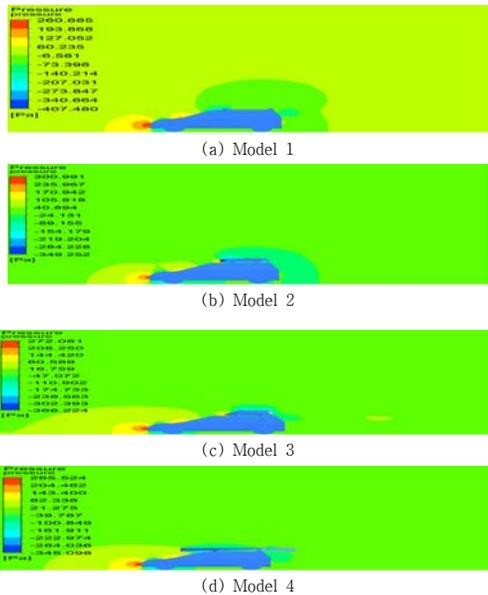


Fig. 8. Contours on flow pressures of models

Fig. 8에서는 차량 중간부분에서 차량 주변에 공기저항에 대한 압력이 생기는 부분을 등고선으로 나타낸 그림이다. Model 1에서는 255.168Pa, Model 2에서는 254.4Pa, Model 3에서는 262.654Pa로 최대 압력이 나

타나는 것을 확인할 수 있었다. Model 1, 2 및 3의 3가지 모델들은 254Pa에서 263Pa사이에서 공기저항 압력이 최대로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 7, Fig. 8은 공통적으로 앞부분에서 가장 높은 압력이 나타난다.

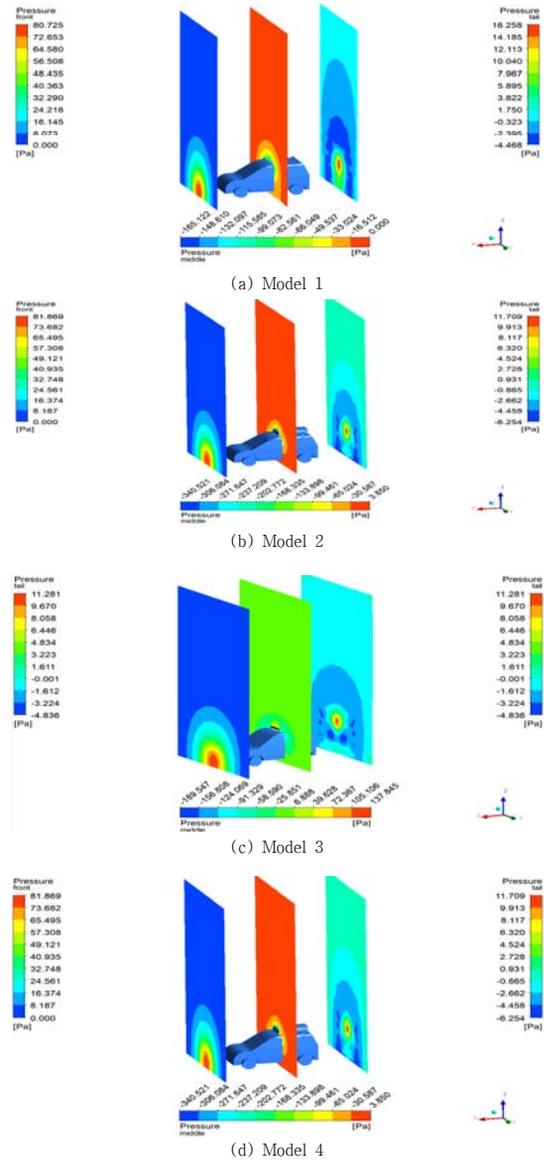


Fig. 9. Contours of flow velocities on planes of front, middle and tail of models

Fig. 9는 각 모델들의 앞면, 중간면 및 끝면에 대한 가장 높은 유동 속도를 보면, 중간 측 평면에서는 Model 1은 22.386m/s, Model 2에서는 23.025m/s, Model 3

에서는 23.494m/s로 나타났다. 그리고 출구 측에서는 Model 1이 20.452m/s, Model 2가 20.661m/s, Model 3이 21.244m/s로 나타났다. 출구 측에서는 유동의 가장 높은 속도는 Model 1의 경우가 20.452m/s로서 가장 작게 나왔다. 3가지 모델 다 앞부분 평면은 다 유사한 결과가 나왔으나 차량 앞부분의 모양은 부착물의 크기에 따라 속도가 가장 낮은 부분의 모양이 변화였고 Model 3의 모양이 가장 컸다. 중간 측 평면에서는 Model 1가 3가지 모델들 중에서 최대 속도가 가장 작은 결과가 나타난 것으로 보아 속도의 저항이 상대적으로 덜 작용되는 것으로 사료된다.

3. 결론

본 연구에서는 가장 많이 운행되고 있는 3가지 차량 부착물 모델들 주위에 흐르는 공기의 유동해석을 통하여서 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. Model 1, 2 와 3의 모델들에 대해 보면 모델의 부착물과 사람머리 사이의 윗부분에서 26m/s에서 27m/s 사이의 가장 공기의 유동 속도가 나타났다.

2. Model 1, 2 와 3의 3가지 모델 차량 앞부분에서는 254Pa에서 263Pa사이에 공기저항의 압력이 가장 높은 것으로 나타났다.

3. 모델의 출구 쪽에서 유동의 최고 속도는 Model 3의 경우 21.224m/s로 가장 크게 나왔고 Model 1의 경우는 20.452m/s로 가장 낮게 나왔다. Model 1가 가장 높은 압력을 받는 부분이 가장 작아서 속도에 대한 저항이 적게 작용되는 것으로 사료된다.

4. Model 1가 가장 높은 압력을 받는 부분이 Model 2, 3에 비해서 가장 작아서 속도에 대한 저항이 적게 작용되는 것으로 사료된다. 따라서 연비에 대하여 절약할 수 있는 것으로 사료된다.

5. 자동차 모델 주위 유동에 대한 모의 해석을 많이 사용하고 있으나 차량 주위의 유동해석과 저항에 대한 연비와 관련된 연구는 현재로는 드문 실정이다. 본 연구 결과가 차량의 성능 개선에 효율적으로 적용될 수 있으리라 사료된다.

6. 본 연구결과를 토대로 얻은 루프 박스의 형상별 차량 주위에서의 유동에 관한 융합 연구에 대한 설계데이터를 활용함으로써 실생활에서의 자동차 부품에 융합하여 그 미적 감각을 나타낼 수 있다.

REFERENCES

- [1] M. S. Han & J. U. Cho. (2014). Flow Analysis of Mounting Gradient of Protective Glass Around Motorcycle. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 23(6), 596-601. DOI :10.7735/ksmt.2014.23.6.596.
- [2] J. U. Cho. (2012). Flow analysis of air due to the shapes of motorbike. *Journal of Korean Society of Mechanical Technology*, 14(1), 53-60.
- [3] J. U. Cho & M. S. Han. (2010). Flow Analysis on the Outside of Automotive Body. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 9(1), 55-60.
- [4] H. C. Lee & J. U. Cho. (2014). Study of the Shape of Car Body Affecting Flow Resistance of Air Flowing Near Car. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 15(8), 4707-4712. DOI :10.5762/KAIS.2014.15.8.4707.
- [5] M. S. Han & J. U. Cho. (2016). Flow Analysis due to the Configuration of Automotive Spoiler. *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, 24(6), 677-683.
- [6] B. S. Oh & J. U. Cho. (2018). A Convergence Study through Flow Analysis due to the Configuration of Automotive Air Breather. *Journal of the Korea Convergence Society*, 9(10), 265-270. DOI :10.15207/JKCS.2018.9.10.265.
- [7] J. U. Cho. (2015). Study on Convergence Technique through the Flow Analytical Study inside the Faucet for Bathroom. *Journal of the Korea Convergence Society*, 6(2), 37-42. DOI :10.15207/JKCS.2015.6.2.037.
- [8] H. C. Lee & J. U. Cho. (2014). A Study on Air Flow Analysis due to the Shape of Automotive Body. *Journal of the Korea Convergence Society*, 5(2), 19-23. DOI :10.15207/JKCS.2014.5.2.019.
- [9] J. H. Lee & J. U. Cho. (2015). Study on Convergence Technique through Flow Analysis at the Flexible Joint of the Pipe Laying. *Journal of the Korea Convergence Society*, 6(3), 13-18. DOI :10.15207/JKCS.2015.6.3.013.
- [10] K. S. Ahn, J. G. Oh, T. H. Yang & G. T. Yeo. (2019). An analysis of the Factors of Moving in and Activation Strategies for Incheon Cold-Chain Cluster using LNG cold energy. *Journal of Digital Convergence*, 17(2), 101-111. DOI : 10.14400/JDC.2019.17.2.101.
- [11] S. Y. Min, S. I. Kim. (2018). Study on Improvement of tap water drinking rate of Seoul city Tap water 'Arisu' through usage and recognition analysis. *Journal of Digital Convergence*, 16(9), 399-404.
- [12] J. S. Lim. (2019). A Design of Small Size Sensor Data

Acquisition and Transmission System. *Journal of Convergence for Information Technology*, 9(1), 136-141.
DOI :10.22156/CS4SMB.2019.9.1.136.

- [13] J. H. Ku. (2017). A Study on the Platform for Big Data Analysis of Manufacturing Process. *Journal of Convergence for Information Technology*, 7(5), 177-182.
DOI :10.22156/CS4SMB.2017.7.5.177.
- [14] S. G. Kim, J. H. Kang, X. Song & Y. C. Park. (2007). Relationship of Flow coefficient and Accuracy of opening Bellows Seal Valve, *The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 10(11), 205-208.
- [15] B. M. Jang & D. H. Cho. (2019). A Study on the Flow Characteristics around Vertical Wall with Flap. *Journal of Korean Society of Mechanical Technology*, 21(2), 248-253.

오 범 석(Bum-Suk Oh)

[상학원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학석사)
- 1987년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학박사)
- 1989년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수
- 관심분야 : 기계 및 자동차 부품 의 강도평가 및 파손해석
- E-Mail : bumsok@kongju.ac.kr

조 재 웅(Jae-Ung Cho)

[중신학원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과(공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수
- 관심분야 : 기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석
- E-Mail : jucho@kongju.ac.kr