

배관의 신축이음에서의 유동해석을 통한 융합기술연구

이정호*, 조재웅**

*공주대학교 대학원 기계공학과, **공주대학교 기계자동차공학부

Study on Convergence Technique through Flow Analysis at the Flexible Joint of the Pipe Laying

Jung-Ho Lee*, Jae-Ung Cho**

*Department of Mechanical & Automotive Engineering, Graduate School, Kongju University

**Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요약 본 논문은 신축이음으로 배관과 배관사이에 연결되어 압력과 온도를 조절하는 이음의 안전설계에 관한 연구이다. 본 연구의 목적은 외기와 수송유체의 압력으로 인한 팽창과 수축에 의한 파이프 손상의 문제를 해결하고자 하여 파이프에 작용하는 과중한 압력을 감소시키고 사고발생을 예방하고자 하고자 한다. 3가지 유형의 신축이음을 적용하여 각각의 모델의 유동특성을 시뮬레이션 해석을 통하여 관찰한다. 각각의 모델의 형상에 따라 슬리브형, 벨로우즈형, 루프형의 신축이음 특성을 분류한다. 또한 수송 유체가 신축이음을 통과할 때, 배관에서의 열과 압력, 속도의 유동특성을 분석한다. 본 연구의 결과를 이용하면 신축이음 형상에 따른 안전설계에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 디자인 면에서 융합 기술로의 접목도 가능하여 미적인 감각을 나타낼 수 있다.

• Key Words : 배관; 신축 이음; 유동 특성; 안전 설계; 융합 기술

Abstract This paper is the study on the safe design of joint controlling the pressure and temperature by connecting between pipes laying with the flexible joint. This study aims at decreasing the excessive pressure applied in the pipe and preventing the accident occurrence in order to solve the pipe damage by extraction and contraction due to the pressure of open air and transport gas. The flow properties of each model are investigated through the simulation analysis by applying three kinds of the flexible joints. When transport gas passes the flexible joint, the flow characteristics of heat, pressure and velocity at pipe laying are analyzed. It is thought to be contributed to the safe design due to the shape of the flexible joint by using the result of this study. And it is possible to be grafted onto the convergence technique at design and show the esthetic sense.

• Key Words : Pipes laying; Flexible joint; Flow characteristic; Safe design; Convergence technique

1. 서론

각종 수송관의 배관을 설계함에 있어 신축이음의 역할은 아주 중요하다고 볼 수 있다. 신축이음은 외기와 수송유체의 온도변화에 따른 파이프 라인의 팽창과 수축의

문제 압력으로 인한 파이프의 손상으로부터 신축 및 진동에 대응하는 신축관을 설치하여 파이프라인에 가해지는 과중한 응력을 흡수하여 보호하여 사고발생을 예방하는데 그 목적을 가지고 있다[1,2,3]. 신축이음이 없을 시, 파이프 라인이 고온과 고압에 의하여 틀어지거나 터지게

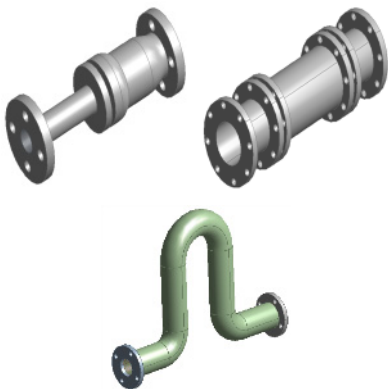
**교신저자 : 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

된다[4]. 본 연구에서는 파이프라인에 사용되는 3가지 신축이음의 내부 유체해석을 통하여 신축이음의 효과를 검토하고자 한다[5,6]. 파이프 라인에 사용되는 3가지 신축이음은, 슬리브 타입(Sleeve type), 벨로우즈 타입(Bellows type), 루프타입(Loop type)을 사용하여 각각의 신축이음의 형상을 동일한 조건인 유동환경을 가정한 후, 유동해석을 통하여 각각의 유동특성을 파악하고자 한다 [7,8,9,10]. 또한, 이는 디자인 면에서의 융합 기술로의 접목도 가능하여 미적인 감각을 나타낼 수 있다.

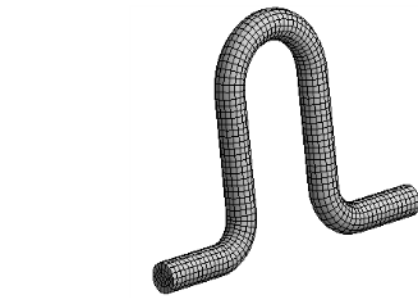
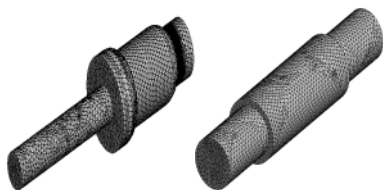
2. 본론

2.1 해석모델

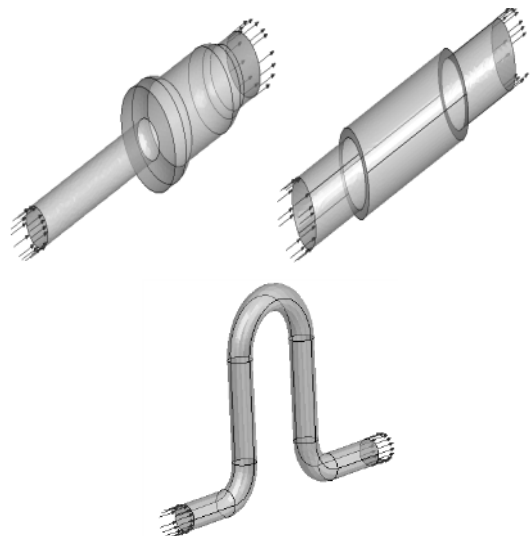
[Fig. 1]은 해석에 사용된 모델의 형상을 나타낸 것으로 신축이음의 종류 중 가장 많이 사용되는 3가지 타입을 Catia V5를 이용하여 3D모델링 하였으며, 이를 유한요소 해석프로그램인 Ansys를 유체해석을 수행하였다. [Fig. 2]는 해석에 사용된 모델의 Mesh 생성으로 압력이 감소할 것으로 예상되는 부위에 조밀한 Mesh를 생성하여 압력의 감소를 살펴보고자 한다[11,12,13,14,15].



[Fig. 1] Drafts of specimens
(L:Sleeve type R:Bellows type B:Loop type)



[Fig. 2] Mesh generations
(L:Sleeve type R:Bellows type B:Loop type)



[Fig. 3] Environment settings
(L:Sleeve type R:Bellows type B:Loop type)

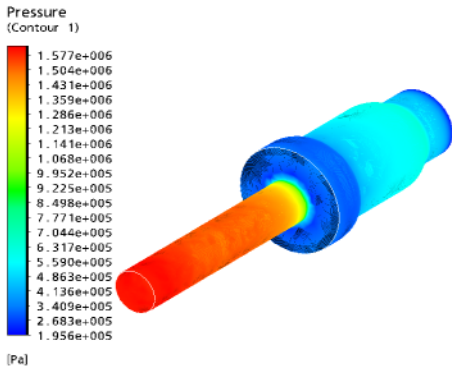
[Fig. 3]은 해석환경에 관한 것으로 입구와 출구를 지정하여 해석모델의 해석환경을 설정한다. 입구와 출구의 압력은 <Table 1>에 나타나 있다.

<Table 1> Setting of pressure and temperature at inlet and outlet

Static Pressure(MPa), Inlet	1.6
Average Pressure(MPa), Outlet	0.1
Static Temperature(C)	220

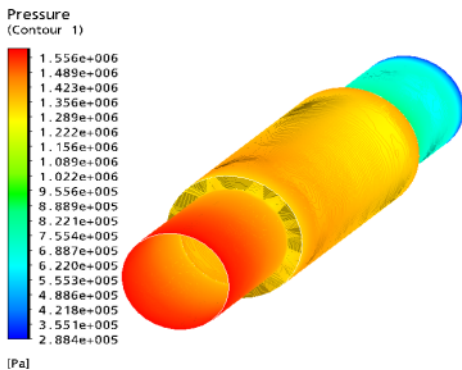
<Table 1>과 같이 해석조건으로 입구 압력은 1.6MPa, 출구 평균압력은 0.1MPa, 220℃의 공업용 냉각수 유체를 가정하여 해석을 수행하였다. 고온 고압의 냉각수의 유출은 자칫 큰 인명피해로 이어질 수 있어, 형상별 유동특성을 파악하여 보강을 하여 사전예방을 하는 것이 중요하다.

2.2 유동해석 결과



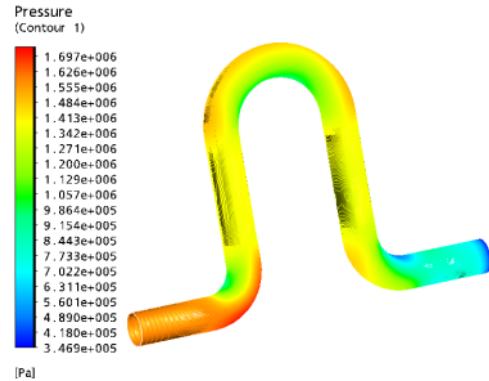
[Fig. 4] Pressure contour at sleeve type

[Fig. 4]는 슬리브 타입의 압력분포 형상이다. 입구 측으로 들어오는 고압의 압력이 넓은 공간의 완충지대로 진입함에 따라 압력강하에 의해서 압력이 낮아지고 있음을 볼 수 있다. 좁은 면적의 유동면적에서 넓은 공간으로 이동할 때 입구의 둘레부분에서 압력차가 크게 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이러한 부분에서의 보강이 필요할 것으로 사료된다.



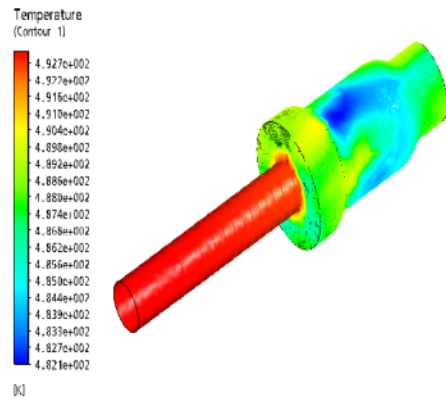
[Fig. 5] Pressure contour at bellows type

[Fig. 5]는 벨로우즈 형의 압력분포 형상이다. 벨로우즈 타입의 경우 입구의 길이가 슬리브 타입과 비교하여 짧기 때문에 압력강하는 낮게 발생한다. 하지만 압력강하가 일어나는 면적이 크기 때문에 압력이 집중되는 부위가 없이 고르게 압력강하가 일어나고 있는 형상을 보이고 있다.



[Fig. 6] Pressure contour at loop type

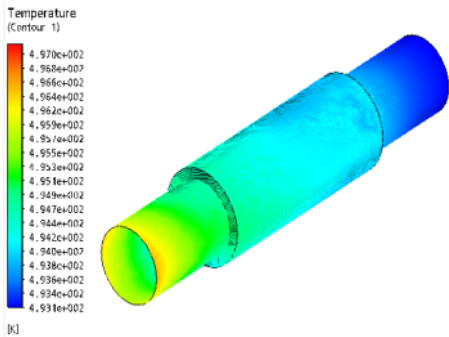
[Fig. 6]은 루프 타입의 압력분포 형상으로 세 가지 형상 중 가장 낮은 수치의 압력강하가 발생하고 있다. 관의 목이 꺾이는 부위에서 큰 압력이 발생하여 고압의 유체가 이동할 때, 파손될 우려가 있는 부분이 관찰되고 있다. 이러한 부분은 관의 꺾이는 부위마다 발생되고 있으며 해당부위의 보강이나 꺾임의 각도가 낮아야 할 것으로 사료된다.



[Fig. 7] Temperature contour at sleeve type

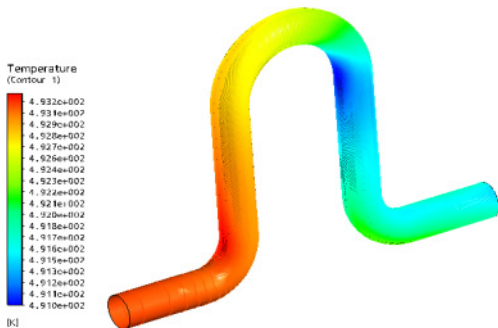
[Fig. 7]은 슬리브 타입의 온도분포 형상으로 입구를

통해 고온의 유체가 유입될 시, 앞서 압력강하가 일어났던 부위에서 약 10℃정도 냉각되는 현상을 보이고 있다. 이를 통해 압력의 감소가 온도에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.



[Fig. 8] Temperature contour at bellow type

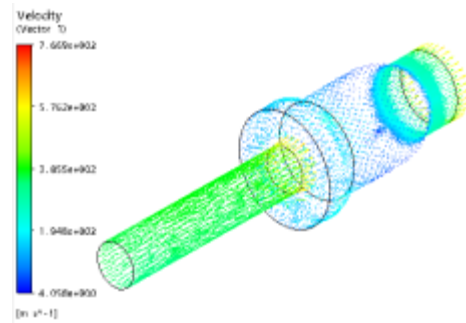
[Fig. 8]은 벨로우즈 타입의 온도분포 형상으로 압력이 감소하는 부분부터 온도가 감소하는 현상을 보이고 있으나, 슬리브 타입과 달리 입구에서부터 바로 온도가 냉각되고 있음을 볼 수 있다. 이는 입구의 면적이 넓어 압력이 감소하는 면적이 넓기 때문으로 사료된다.



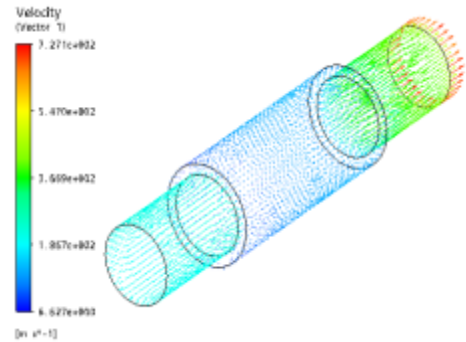
[Fig. 9] Temperature contour at loop type

[Fig. 9]는 루프 타입의 온도분포 형상으로 입구에서부터 출구까지 약 2℃정도 냉각되고 있다. 압력강하와 마찬가지로 관의 목이 꺾이는 부분마다 냉각되고 있는 현상을 보이고 있다. 압력과 온도와의 관계에서 압력강하가 일어나는 지점에서 온도가 냉각되고 있음을 볼 수 있다. 압력강하가 크게 일어나는 지점일수록, 온도차이가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 별도의 냉각 과정을 거치지 않고도 압력을 조절하여 온도를 낮출 수 있음을 시사한다. 다만 압력강하가 크게 나타나기 위해

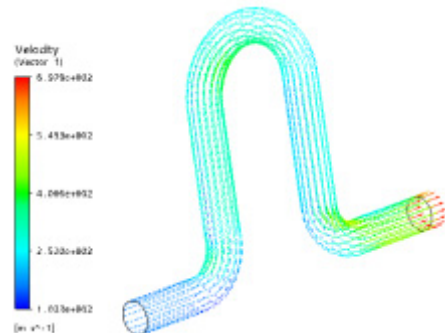
서는 압력이 유동하는 면적이 커야하는데 이렇게 될 때, 압력이 낮아지는 부위에서 압력변화가 크게 일어나며 공동현상이나 워터해머 현상이 발생할 수 있어 추가적인 보강이 필요하다고 사료된다. 또한 압력과 온도와의 관계에서 슬리브 타입이 벨로우즈 타입에 비교하여 압력강하는 46%, 냉각은 2.2%, 더 좋았으며 루프 타입과 비교했을 때는 압력강하는 76%, 1.86%, 더 개선됨을 알 수 있었다.



[Fig. 10] Velocity contour at sleeve type



[Fig. 11] Velocity contour at bellow type



[Fig. 12] Temperature contour at loop type

[Fig. 10]은 슬리브타입의 유체속도를 나타낸 것으로, 다른 타입의 유체유동과는 달리 출구에서의 유체의 속도가 낮다는 점에 있다. 고압으로 유입된 유체가 넓은 영역에서 급감속이 되었다가 다시 좁아지는 출구에 도달하게 되면 유속이 증가하는데, 다른 타입에 비해 그 증가폭이 크지 않다. 이를 통해, 유동의 변화폭이 그리 크지않아 압력은 경감하면서도 일정한 유속을 공급할 수 있는 부위에 사용이 적합하다고 생각된다. 유동의 밀집도를 볼 때, 출구쪽에서 큰 폭으로 속도가 상승하는 유형을 보이고 있어 워터해머 현상이 발생할 수 있는 지점으로 추측해 볼 수 있다. 이를 토대로, 워터해머 현상이 발생될 수 있는 출구부분의 폭이 좁아지는 부분에 대한 보강설계와 유동을 분산시켜 한 지점에 집중되는 현상을 해결해야 한다고 판단되는 부위로 생각된다. [Fig. 11]은 벨로우 타입에 관한 것으로 입구를 통해 들어온 고압의 유체는 잠시 감소하는 추세를 보이다, 출구 쪽에 들어서는 가속화되는 형상을 보이고 있다. 이를 통해 벨로우즈 타입의 신축이음의 경우 들어온 유체속도에 비해 출구속도가 높아 저속으로 들어온 유체도 고속으로 토출이 가능함을 해석을 통해 확인할 수 있었다.

[Fig. 12]는 루프타입에 관한 것으로, 유체의 밀집도는 루프가 꺾이는 부분에 집중되고 있음을 볼 수 있다. 또한, 루프가 상승했다가 하강하는 부위에서 유체의 속도가 증가하는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다. 유체의 속도를 통한 해석결과를 토대로 볼 때, 슬리브 타입과 루프타입은 각 관절의 꺾임에 따라 유체의 압력과 속도가 집중되고 있음을 볼 수 있다. 이러한 급격한 속도와 압력의 변화는 신축이음의 워터해머 현상을 발생시킬 수 있어, 신축이음의 균열로 이어질 수 있기 때문에 보강이 필요하다는 해석적 결과에 도달 할 수 있다. 입,출구에서의 유체 속도는 슬리브 타입에서 47%, 벨로우즈 타입에서 8.84%, 루프타입에서 85%더 높게 나타났다. 이러한 결과를 토대로 각 신축이음의 유체속도에 따른 보강을 고려할 수 있다. 또한 그 적용에 있어 유체의 토출속도가 높아야 하는 지점에는 벨로우 타입과, 루프타입을 적용할 수 있으며 이를 통해 별도의 압력장치 없이도 원활한 유동을 위한 설계를 할 수 있음을 해석적인 결과를 통해 유도 할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 신축이음 모델들의 내부에서의 유동 해석을 수행한 후, 각 Section별로 Pressure, Velocity, Temperature들을 비교 및 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 가장 낮은 압력분포를 보인 슬리브 타입과 비교 했을 때, 벨로우 타입과는 46%, 루프 타입과는 76%의 압력 차이가 낮게 나왔다.
- 2) 가장 높은 냉각성능을 보인 슬리브 타입과 비교 했을 때, 슬리브 타입과는 2.2%, 루프 타입과는 1.86% 더 높은 냉각성능을 보였다.
- 3) 가장 높은 유체속도의 변화를 보인 루프타입의 속도비율은 85%의 높은 차이를 보였고, 뒤를 이어 슬리브 타입에서 47%, 벨로우즈 타입에서 8.8%의 속도차이를 보였다. 이를 통해 각 신축이음에서의 유체속도차를 볼 수 있으며 얻어진 기반데이터를 토대로 각 신축이음에서의 보강을 결정할 수 있다. 또한 이를 통해 별도의 장치없이도 구조적인 설계를 통해 유체의 토출 속도를 높일 수 있음을 해석적 결과를 통해 알 수 있었다.
- 4) 본 연구에서의 해석결과들을 통해, 유체유동에 사용되는 신축이음의 유동특성을 파악할 수 있으며 이를 통해 유체 유동의 특성에 따른 신축이음의 설계에 이바지 할 수 있다. 또한, 디자인 면에서의 융합 기술로의 접목도 가능하여 미적인 감각을 나타낼 수 있다.

REFERENCES

[1] K. S. Kim, J. C. Lee, Y. J. Kim, "Thermal Stress Analysis and Flow Characteristics of a Bellows-Seal Valve for High Pressure and Temperature", The Korean Society of Mechanical Engineers Fluids Engineering, Vol. 8, No. 6, pp. 40-46, 2005.

[2] S. G. kim, J. H. Kang, X. Song, Y. C. Park, "Relationship of Flow coefficient and Accuracy of opening Bellows Seal Valve", The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 11, pp. 205-208, 2007.

[3] S. G. Kang, S. H. Kim, Y. J. Jo, Y. C. Park, J. H. Kang, "Relationship of Flow coefficient and

- Accuracy of opening valve for Design of bellow Seal Valve”, The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 14, No. 16, pp. 146-149, 2011.
- [4] T. S. Bae, S. P. Kim, K. H. Lee, “Structural Optimization of a Manifold Valve for Pressure Vessel”, Korean Society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 12, pp. 102-109, 2009.
- [5] C. W. Lee, S. C. Jang, “A Fundamental Study on Offshore Structures of high pressure control valve”, Journal of the Korean Society of Machine tool Engineers, Vol. 19, No. 6, pp. 883-888, 2010.
- [6] C. Oh, S. B. Mun, Y.G. Son “An experimental study on ice slurry fluid and pressure drop characteristics in along a horizontal circular tube around the valve.”, Journal of the Korean Society of Marine Engineers, Vol. 30 No.3, pp. 382-388, 2006.
- [7] Y. J. Ahn, B. J. Kim, B. R. Shin, “Numerical Analysis on Flow Characteristics of High Pressure Drop Control Valves With Anti-Cavitation Trim”, Korean Society for Fluid Machinery, Vol. 10, No. 4, pp. 61-70, 2007.
- [8] J. G. Park, J. H. Park, Y. C. Park “A FLOW CHARACTERISTICS FOR Y-CONNECTION IN HIGH-REYNOLDS-NUMBER FLOW SYSTEM”, Korean Society for Computational Fluids Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 1-8, 2013.
- [9] C. W. Kang, K. S. Yang, “REYNOLDS NUMBER EFFECTS ON TURBULENT PIPE FLOW”, Korean Society for Computational Fluids Engineering, Vol. 16, No. 4, pp. 28-38, 2011.
- [10] C. W. Kang, K. S. Yang, “THE EFFECTS OF WALL BOUNDARY CONDITIONS ON MASS TRANSFER IN TURBULENT PIPE FLOW”, Korean Society for Computational Fluids Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 42-52, 2012.
- [11] G. K. Lee, N. K. Hur, G. H. Son, “A NUMERICAL ANALYSIS ON THE BEHAVIOR OF LIQUID FILM AROUND A CURVED EDGE”, Korean Society for Computational Fluids Engineering, Vol. 17, No. 4, pp. 75-80, 2012.
- [12] S. H. Park, S. K. Kim, M. Y. Ha, “Numerical Study on Flow and Heat Transfer Characteristics of Pipes with Various Shapes”, The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 37, No. 11, pp. 999-1007, 2013.
- [13] S. Y. Lee, S. C. Kim, “Flow Analysis for Optimal Design of Small Gear Pump”, Journal of Energy Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 88-96, 2015.
- [14] S. S. Hwang, D. S. Park, E. J. Seong, P. H. Lee, S. A. Cho, J. Y. Han, S. H. Choi, “CFD modeling in fluid channels of micro fuel processor for fuel cell”, The Korean Society of Manufacturing Process Engineers Spring Conference, pp. 141-146, 2006.
- [15] Y. K. Kim, D. J. Kim, Alisher Umarov, K J Kim, J. Y. Park, “A Three-Dimensional CFD Study on the Air Flow Characteristics in a Wax Spin Coater for Silicon Wafer Manufacturing”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 6, pp. 146-151, 2011.

저자소개

이 정 호(Jung-Ho Lee) [학생회원]



- 2015년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부(공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 기계공학과(공학석사 과정)

<관심분야> : 기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석

조 재 응(Jae-Ung Cho) [중신회원]



- 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