Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 7 pp. 607-612, 2019

https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.7.607
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

IMG 발포일체성형 크래시패드 개발

최성식[1], 공병석[1], 박동규[2*]
[1]현대자동차 인테리어리서치랩, [2]한국기술교육대학교 기전융합공학과

The Development of IMG Integral Foaming Crashpad

Sung-Sik Choi[1], Byung-Seok Kong[1], Dong-Kyou Park[2*]
[1]Interior Research Lab, Hyundai Motor Company
[2]Department of Electromechnical Convergence Engineering, Korea University of Technology and Education

요 약 크래시패드의 소프트감은 차량 실내의 고급감에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이다. 그리고 실내 크래시패드의 소프트감을 향상시키면서 동시에 제조 및 생산 비용의 절감을 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 크래시패드의 PU 발포 공정은 부품공정, 공정장비 및 다양한 재료의 특성에 대한 이해를 기초로 진행된다. 그러므로 차량 내장 부품의 외관 상품성에 대한 고객 요구조건을 만족하기 위해서 부품공정, 공정장비, 재료선정과 컴퓨터 응용 해석기술을 활용한 통합적인 설계 기법이 활용되었다. 본 연구에서는 스킨성형 방법과 기재의 플라스틱 사출성형 방법 그리고 공정 축소를 고려한 발포 공정을 통합한 기술인 IMG 발포일체성형 공법을 세계 최초로 개발하였다. 본 기술 적용을 통하여 크래시패드 표면 소프트감이 기존 진공성형 공법 대비 40% 향상 효과를 볼 수 있었고, 사출 공정과 제조 공정을 통합하여 기존 공정을 50% 축소할 수 있었다. 또한 사출 금형과 스킨 금형을 통합하고 발포 금형을 삭제하여 금형수도 3개에서 1개로 줄임으로 중형 승용차 적용 기준 원가 20% 절감 효과를 얻을 수 있었다.

Abstract The softness of the crashpad part is one of the important factors which affect the interior perceived quality of the vehicle interior. And while improving the softness of the crashpad part, every effort to lower the production cost has been going on. The PU foaming process for the crashpad part depends on the understanding of a lot of processes, tools and material properties. Therefore, to achieve the requirement of the customer for the interior part's visual quality, the integrated design techniques are investigated to correlate the processes, tool design, material design and the computer aided analysis. In this paper, IMG (In Mold Grain) designed concept is firstly developed to integrate the skin preforming, plastic injection molding of the substrate and the foaming process in a tool within reduced processes. Through the application of this technology, softness of crashpad is improved by 40% compared to the conventional vacuum molding method, and the existing process is reduced by 50% by integrating the injection process and the manufacturing process. And by integrating the injection mold and the skin mold and removing the foaming mold, the number of molds are reduced from 3 to 1, resulting in 20% reduction in the cost of applying a medium-sized passenger car.

Keywords : In Mold Grain, PU Foaming, Injection Molding, Skin Preforming, Softness of Crashpad

본 논문은 2019년 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.
*Corresponding Author : Dong-Kyou Park(Korea University of Technology and Education)
email: pdongkyou@koreatech.ac.kr
Received April 22, 2019 Revised May 9, 2019
Accepted July 5, 2019 Published July 31, 2019

1. 서론

차량의 크래시패드는 내장 부품 중 승객의 손이 가장 많이 닿는 부위로 최근 유럽 진출 차종을 중심으로 하드 판넬 재질의 딱딱한 느낌 및 이로 인한 Cheep Feeling 지적이 고객의 주요 불만사항으로 제기되고 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 자동차 회사들은 크래시패드 상단 부품의 시각적 및 촉각적 느낌에 따른 차량 내장의 고급감 향상을 위하여 각 차급에 적절한 원가 수준으로 최대한의 내장 고급감을 구현하기 위한 다양한 표면처리 공법 개발을 진행하고 있다.

이러한 원가와 투자비 상승 없는 크래시패드 표면 고급화를 이룰 수 있는 표면 처리 기술 개발 연구로 한 금형 안에서 이종 재질을 층을 이루며 성형하는 기술인 Over-molding 공법이 개발되었고[1], 이후 소프트 스킨 감싸기를 대체할 수 있는 IMX (In Mold Anything(X)) 공법 연구가 진행되어 왔다[2,3].

본 연구에서는 기존에 진행되었던 이와 같은 연구들을 기반으로 준중형 이상의 차량에 적용하고 있는 발포 공법의 상품성을 유지하면서도 원가를 동시에 절감할 수 있는 IMG (In Mold Grain) 발포일체성형 기술을 개발하게 되었다.

2. 본론

2.1 IMG 발포일체성형 공법 개념

IMG 발포일체성형 공법에서는 크래시패드 기재 성형과 스킨 성형 그리고 발포 공정을 한 금형 내에 통합하는 개념의 기술로 원가 절감 목표를 달성하고 스티치 성형이 가능한 정도의 엠보 재현성 확보와 기존 수준 대비 향상된 스킨 소프트감으로 고급감을 향상시키는 두 가지 목표로 개발되었다.

이를 위하여 성형 및 발포 금형 통합, 부품의 언더컷 처리, 발포 공정 시 실링 방안, 발포 성형 싸이클 타임 축소 방안 및 스티치 일체 성형과 발포부 소프트감 향상 등의 기술적 과제를 중점적으로 해결하였다. 본 공법의 적용 부품은 Fig. 1과 같다.

Fig. 1. Applied part of IMG integral foaming crashpad

현재 Male 진공성형 공법에서는 크래시패드 기재를 사출 성형하고 스킨은 엠보가 전사되어 있는 스킨 원단을 열과 진공으로 흡착하여 일정한 형태로 프리포밍한 후에 기재와 스킨을 발포 금형 내에 거치하여 기재와 스킨 사이에 발포액을 주입함으로 부품을 성형한다[4,5]. 그 성형 순서는 Fig. 2와 같다.

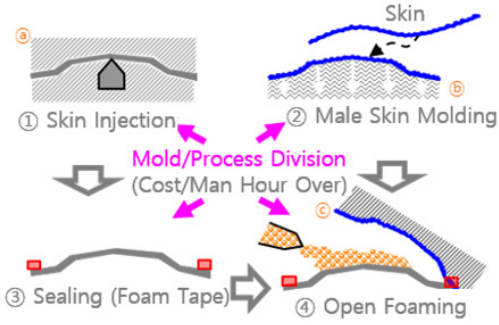

Fig. 2. Male vacuum molding process

이 공법은 오랜 기간 동안 준중형 이상의 차량 개발에서 사용되어 왔으나, 사출과 발포 금형이 별도로 필요하고 이들 금형에서 성형된 1차 완성품을 발포 금형에 옮기는 공정과 발포액이 누액되는 것을 막기 위한 실링 공정 등의 추가로 인한 설비 투자비 증가가 원가 상승의 주요 원인이 되고 있었다. 본 기술 개발은 사출 금형과 발포 금형을 슬라이딩 방식으로 제작하여 두 가지 성형 공정을 병렬로 처리함으로 공정 간의 부품 이송과 기존 직렬 생산으로 인한 싸이클 타임 축소를 포함하고 있다.

본 기술의 공정을 살펴보면 우선 예열기를 통과한 폼스킨을 전주금형으로 이송하여 진공을 이용하여 흡착한다. 이때 전주금형에 미리 가공한 엠보 형상이 폼스킨의 표면에 전사되면서 전주금형의 내측 형상대로 프리포밍이 된다.

그와 동시에 전주금형과 인접한 사출 금형에서는 기재를 사출한 후에 형개를 하고 기재의 표면에 화염처리를 한 후, 전주 금형의 상측을 사출 금형의 상부로 이동하여 형폐를 한다. 마지막으로 폼스킨과 기재 사이에 발포 성형을 하여 부품을 탈형한다. 이상의 과정은 Fig. 3과 같은 순서로 표현된다.

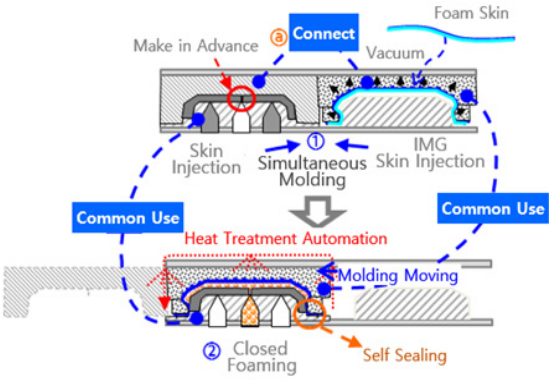

Fig. 3. Process of IMG integral foaming crashpad

기존의 Open 발포 방식에서는 PU 발포액이 흘러내리지 않도록 캐비티 금형을 아래에 위치시키고 위에서 발포액을 주입하지만, 본 기술의 병렬 금형 구조에서는 기재 사출 게이트 뿐 아니라 발포액 주입 헤드도 코어 금형 아래에 위치하도록 설계하고 전주 금형의 이동이 용이하도록 하였으며, Closed 발포 방식을 적용함으로써 발포액의 누액을 방지하고 부품 성형 후 불필요한 스킨을 커팅해야 하는 후공정도 자동화할 수 있었다.

이상과 같은 금형 구조로써 스킨의 프리포밍에서부터 발포 성형까지 기존 4 개 이상의 공정을 2 개 공정으로 축소하였으며, 스킨과 기재의 이송 및 실링 등의 수작업 공정을 최대한 자동화할 수 있었다.

2.2 스킨폼 개발

본 기술에서는 소프트감을 향상시키고자 하는 목표를 가지고 크래시패드에서 일반적으로 사용하고 있는 TPO 스킨을 이용하여 개선하였다.

현재 사용하고 있는 기술에서는 스킨은 일반적으로 1.3 t의 단일 TPO 재질로 소프트감이 떨어져 일정한 힘을 가했을 때의 변형량이 적어 딱딱하다는 감을 주고 있다. 또한 Male 진공성형 시 스킨에 전사된 엠보가 코너부나 돌출부에서 늘어나는 외관 문제가 발생하기도 한다.

이에 대해 0.6 t의 TPO 스킨에 소프트감을 향상하면서 원가를 낮출 수 있는 2.5 t의 20 배율 PP 폼을 접착한 폼스킨을 사용함으로써 기존의 Male 진공성형 공법으로 성형한 부품이 발포폼으로만 소프트감을 구현하는 것 대비 PP 폼과 발포폼의 2중 반발력으로 소프트감을 구현하여 15 N 가압 시 기존 1.8 mm 압축량이 3.0 mm로 증가하여 40 % 정도의 표면 소프트감 향상 효과를 얻을 수 있었으며 그 결과는 Fig. 4와 같다.

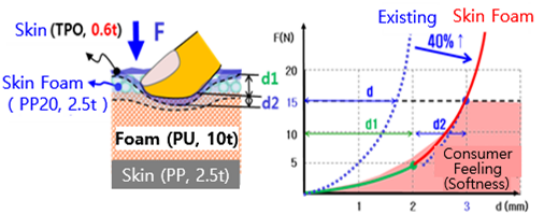

Fig. 4. Soft feeling improvement by appling skin foam

위와 같은 폼스킨 인서트 성형을 위해서 IMX 크래시패드 개발 시 폼스킨을 최적화한 사례를 참조하여 발포 성형 전후의 폼 두께 비율을 나타내는 폼 회복율과 부위별 폼 두께 편차 등을 감안한 폼의 재질과 두께 및 배율 등을 선정함과 동시에 금형 내의 압력과 온도 및 발포액 주입 속도 등도 최적화함으로써 발포 성형 시 열과 압력에 의해 발포폼이 손상되거나 압축되어 소프트감이 상실되지 않도록 하였다[2].

스킨 성형 방식은 IMG 방식을 채택함으로써 엠보 재현성을 높이고 표면에 스티치 등을 금형 내에서 성형할 수 있는 등의 고급화 측면을 감안하였다. 이 성형 방식은 포켓 모양의 전주 금형에 스킨을 흡착시켜 성형하기 때문에 스킨 주름, 라운드가 작은 부분의 미성형, 스킨이 늘어남에 따른 광택도 저하와 두께 감소 또는 터짐, 스킨과 폼의 박리 등의 문제가 있을 수가 있다.

이런 문제에 대해서 스킨 및 폼의 두께와 재질, 부품 형상 조정, 금형 구조 변경 등으로 해결하였고, 파팅 라인 노출 최소화, R값 협소부 성형성 개선 및 스티치부 전사 형상 개선을 위한 금형 누름압 증대 등의 개선 작업을 진행하였다. 이상의 스킨폼 형성 시 문제점과 개선 결과를 정리하면 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다.

스킨 성형 관련 또 다른 고려 사항으로는 제품의 언더컷부의 엠보를 어떻게 전사해야 하는가의 문제가 있다. 일반적인 IMG 성형 공법에서는 고온에서 예열된 폼스킨을 스킨 성형 금형에서 진공으로 스킨을 흡착할 때 언더컷 부분도 전주 금형에서 성형 가능하고 탈형도 용이하지만, 본 기술은 전주 금형이 발포 성형 시 캐비티 금형

으로 사용되기 때문에 발포까지 끝난 제품 탈형 시 스크래치의 문제가 생길 수 있다.

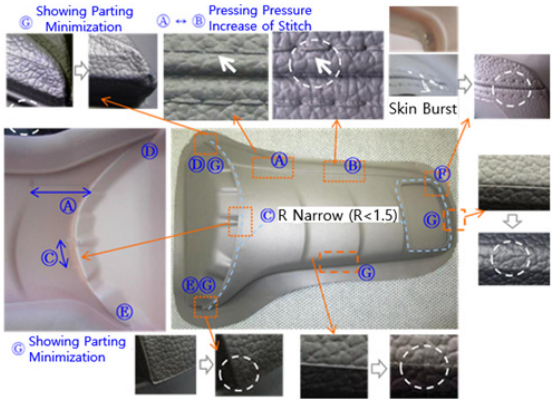

Fig. 5. Problems and improvement results overview of skin foaming process

따라서 본 기술에서는 언더컷 부분에 스킨 성형을 위한 슬라이드 금형을 설치하고 금형의 표면에도 엠보를 가공함으로 언더컷 형상을 포함한 제품 전면에 엠보가 전사되도록 함으로써 Male 진공성형 공법 대비 제품의 전 영역에서 엠보 깊이가 개선되고 디자인 구현성도 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

외관 고급화 측면과 함께 스킨폼을 적용함으로써 얻을 수 있는 또 다른 장점으로는 발포 성형 시 실링에서 찾을 수 있다. 본 기술에서는 Closed 발포 방식을 채용하였는데, 기재와 스킨을 압착할 때 스킨의 두께 편차로 인하여 고압의 발포액 누액이 발생되는 문제를 PP 폼이 기재와 스킨 사이 공간을 완벽히 메움으로써 실링 성능을 향상시킬 수 있었다. 스킨폼 발포의 실링 효과는 Fig. 6과 같다.

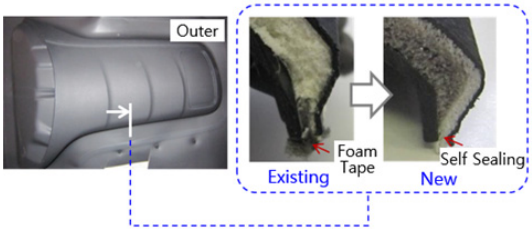

Fig. 6. Sealing section of skin foaming

2.3 발포성형 해석 및 개발

PU 발포층은 승객이 느끼는 소프트감에 중요한 영향을 줄 뿐만 아니라 제품의 원가에도 큰 부분을 차지하므로 발포 공정을 최적화하는 것을 본 기술의 주요 과제중 하나이다. 발포 성형을 최적화하기 위해서 발포 성형 해석 기법을 도입하여 부품 구조와 세부 공정과 재료에 대해 개선할 점을 새롭게 설계하였다[6].

발포 성형 해석을 위해서는 재료의 물성과 발포 성형 조건이 중요한데 발포 성형 조건으로 입력되어야 하는 항목으로는 발포액 주입 사이즈, 토출 속도, 총 주입시간, 제품 형상 및 금형 기울기, 금형 및 발포액 온도 등이 필요하다.

발포 성형 해석은 Molflow를 이용하였고 재료 물성 입력을 위한 폼 상승 속도는 Fig. 7과 같다.

성형 해석 결과로는 미충진 부위, 가스 및 기포 발생 부위 그리고 부위별 온도 및 밀도 분포 등이 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있다.

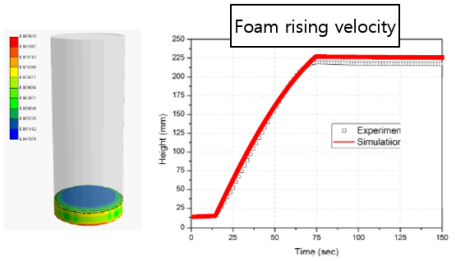

Fig. 7. Foam rising velocity profile

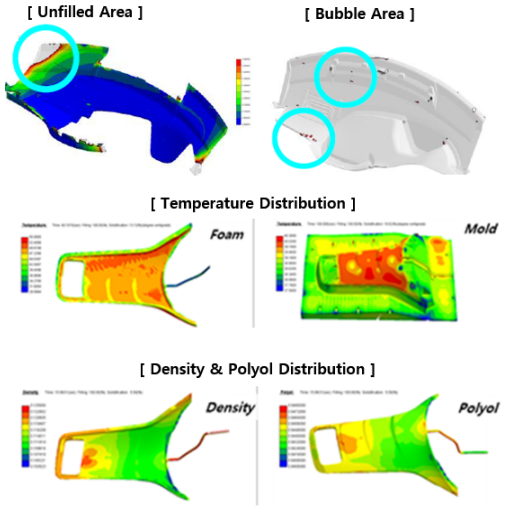

Fig. 8. Finite analysis result of skin foaming process

첫 번째로 부품 형상 때문에 생기는 발포 과정을 해석 결과를 분석하고 예측함에 따라 발포액 도포 방향을 충진 협소부 근접 위치로 조정함으로써 발포액이 미충진되는 부분을 없애고, 부위별 발포 밀도를 고르게 하는 결과를 Fig. 9와 같이 얻었다. 이를 통해 미충진을 방지하기

위해 필요한 양보다 더 많은 양의 PU 발포액을 높은 압력으로 주입함으로써 전체적인 부품의 밀도를 높임으로 오히려 소프트감을 떨어뜨리는 기존 Open 발포 방식의 문제점을 개선하였다.

또한 금형 구조를 Closed 발포가 가능하도록 변경하고 발포 시간을 줄인 초단기 발포액의 재료 물성을 해석적인 사전 검증을 통하여 적용함으로써 Closed 금형 상태에서 적정 밀도를 구현하기 위한 발포액 소요량을 예측할 수 있었고, 발포액 량은 기존 164 g 에서 118 g 으로 줄일 수 있어서 원가를 절감과 함께 싸이클 타임을 160 초에서 110 초로 줄이는 효과를 얻을 수 있었다.

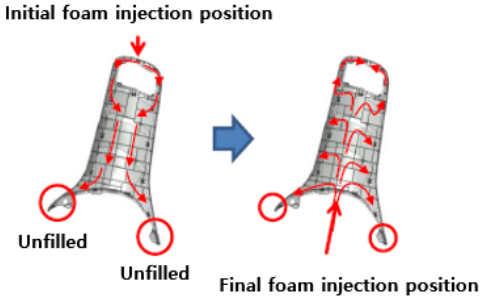

Fig. 9. Change of foam injection position

2.4 양산성 검토

본 기술의 일체성형 공법을 구현하는 데는 재료와 공정, 금형과 설비의 최적화 작업이 각 기술을 전문으로 하는 협력업체들과의 공동 작업으로 수행되었다.

이후 선행개발 형태로 구현한 본 기술의 양산성 검토와 설비 자동화를 통하여 공정 시간을 단축하고자 하는 추가적인 노력이 수행되었다. 기본적인 변경 내역은 2 개의 캐비티를 이용한 기재 사출과 스킨 IMG 성형 및 발포성형이 진행됨과 동시에 다른 쪽 캐비티에서 부품 취출, IMG 스킨 이동과 장착 및 예열 작업을 하도록 함으로써 각 공정 간에 낭비 시간을 최소화 하였고, 선행 개발 시에는 상하 방향으로 금형을 설치하여 성형하던 것을 전후 방향으로 금형을 설치하여 로봇에 의한 자동화가 가능하게 하였다.

이와 같은 자동화 연속 작업 공정의 개선으로 사이클 타임이 축소되었다. 그리고 크래시패드에 적용하는 본 기술의 내용들은 디자인 요구 사항, 스킨 및 발포 성형의 금형 및 공정 조건, 재질 선택 및 고급화 구현 방안 등으로 정리하여 도어 트림과 콘솔 암레스트 등 신체 접촉부의 소프트감 증대와 원가 절감을 동시에 구현하는 공법으로 활용할 수 있다.

3. 결론

소프트감을 필요로 하는 크래시패드 부품에 대해 스킨 포밍과 기재 성형 그리고 발포 성형을 일련의 공정에서 성형할 수 있는 IMG 발포일체성형 공법을 세계 최초로 개발하였다.

이를 위해 각 공정을 병렬로 성형할 수 있는 금형 구조와 부품 구조를 고안하였으며, 외관 고급화를 위하여 소프트감에 영향을 미치는 스킨폼의 사양과 엠보 깊이감 및 스티치 형상을 전사하기 위한 스킨 성형 방법을 도출하였다.

그리고 Closed 발포 공정의 발포 품질을 향상시키고 소요량을 최소화하기 위해 발포 성형 해석 기법을 적용하였다. 또한 양산에 필요한 신뢰성 수준을 만족하는 품질을 확보하였다. 본 기술의 정량적 효과를 정리하면 다음과 같다.

1) 크래시패드 표면 소프트감이 Male 진공성형 공법 대비 40 % 향상 효과가 있다.
2) 사출과 스킨의 성형 공정을 통합하여 기존 4개 공정에서 2개 공정으로 축소하였고, 실링 공정도 삭제할 수 있었다.
3) 공정 단순화 및 금형 통합 그리고 폼스킨 적용을 통한 PU 소요량 축소를 통해 중형차 적용 기준 스킨층 두께 축소를 통한 원가 4,000원 절감과 품층 추가로 인한 원가 증가 2,000원을 더하여 2,000원의 원가 절감 효과가 있다.
4) 사출과 스킨 성형 금형을 통합하고, 발포 금형을 삭제하여 금형수를 기존 3개에서 1개로 축소할 수 있었다.

References

[1] B. S. Kong, "Development of the overmolding instrument panel", *SAE World Congress, Detroit, Michigan, SAE 2013-01-0018,* 2013. DOI: https://doi.org/10.4271/2013-01-0018

[2] B. S. Kong, "Development of two-shot injection compression soft instrument panel", *SAE World Congress, Detroit, Michigan, SAE 2015-01-0065,* 2015. DOI: https://doi.org/10.4271/2015-01-0065

[3] S. S. Choi, B. S. Kong, "The development of the integral foaming crashpad", *KSAE Annual Conference Proceedings,* pp. 962-966, 2017. Available From: http://www.ksae.org/search/index.html?page=1&board_bundle=10&subid=10&no=29292&ift=&ifn=최성식

&ifb=&ifb_fld=&ifo=&ifc=&ifk1=&ifk2=&ifk3=&ify1=&ifm1=&ify2=&ifm2=

[4] M. Jary, C. Visconti, "Low pressure insert molding processes - Options for automotive application", *SAE World Congress, Detroit, Michigan, SAE 980725,* 1998. DOI: https://doi.org/10.4271/980725

[5] J. Melzig, M. Lehner, "Lightweight construction due to thermoplastic foams as exemplified in an intrument-panel support", *SAE World Congress, Detroit, Michigan, SAE 206-01-1404,* 2006 DOI: https://doi.org/10.4271/2006-01-1404

[6] Y. J. Park, Y. Chun, C. S. Park, "The application of injection molding analysis", *KSAE Annual Conference Proceedings,* pp. 1980-1985, 2006. Available From: http://www.ksae.org/search/index.html?page=3&board_bundle=10&subid=10&no=4305&ift=사출성형&ifn=&ifb=&ifb_fld=&ifo=&ifc=&ifk1=&ifk2=&ifk3=&ify1=&ifm1=&ify2=&ifm2=

최 성 식(Sung-Sik Choi) [정회원]

- 1998년 2월 : 포항공과대학교 공과대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 현대자동차 연구개발본부 인테리어리서치랩 책임연구원

〈관심분야〉
차량 인테리어 설계, 프리미엄 감성 인간공학 연구, 미래형 자동차 인테리어 연구

공 병 석(Byung-Seok Kong) [정회원]

- 1998년 2월 : 연세대학교 공과대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 현대자동차 연구개발본부 인테리어리서치랩 연구위원

〈관심분야〉
차량 인테리어 설계, 프리미엄 감성 인간공학 연구, 미래형 자동차 인테리어 연구

박 동 규(Dong-Kyou Park) [정회원]

- 1990년 2월 : 서울대학교 공과대학원 조선공학과 (공학석사)
- 2011년 8월 : 서울대학교 공과대학원 산업·조선공학부 (공학박사)
- 1995년 12월 ~ 2010년 3월 : 현대자동차 남양연구소 책임연구원
- 2012년 1월 ~ 2015년 3월 : 현대모비스 기술연구소 부장
- 2015년 3월 ~ 2017년 2월 : 한동대학교 기계제어공학부 교수
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기전융합공학과 교수

〈관심분야〉
구조해석, 충돌안전해석, 최적설계