

◆특집◆ 하이브리드 제조기술

제조에서의 하이브리드 기술

소범식\*, 박동환\*, 고태조\*\*

Hybrid Manufacturing Technologies

Bum Sik So\*, Dong Hwan Park\* and Tae Jo Ko\*\*

Key Words : Hybrid manufacturing technology (하이브리드 생산기술), Hybrid machining (하이브리드 가공), Hybrid forming (하이브리드 성형), Hybrid joining process (하이브리드 접합)

1. 서론

최근 하이브리드 기술은 산업 전반에 걸쳐 새로운 기술혁신의 대표적인 키워드로 떠오르고 있다. 하이브리드 기술은 적용 대상이나 산업분야에 따라 그 개념이 조금씩 다르나 근본적으로 이종의 두 대상을 결합하여 서로간의 장점을 유지하고 단점은 없애거나 줄이는 기술이라는 개념은 동일하다. 하이브리드 기술의 범위는 바라보는 관점에 따라 소재기술, Mechatronics, MEMS 등의 분야까지 포함할 수 있으나 본 특집에서는 제조기술 분야에서의 하이브리드 기술을 다루기로 한다. 하이브리드 제조기술은 '이종소재 또는 이종기술 간의 결합에 의해 부가가치가 높은 새로운 부품을 만들어 내는 기술'로 정의할 수 있다. 제조기술은 자동차, 항공 등 응용산업의 기반이 되는 기술로서 완성제품의 수준을 좌우하는 기술이다. Fig. 1 은 제조기술의 발전 방향을 보여주고 있다. 과거에는 단일 기술 중심의 생산이었으나 현재는 생산성과 품질의 한계를 극복하기 위해 여러 분야의 이종기

술을 융합한 하이브리드 기술이 활발히 개발·도입되고 있다.

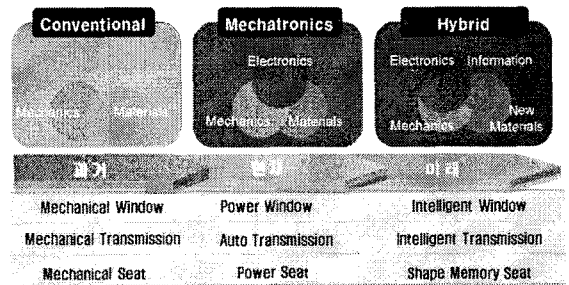


Fig. 1 Trends in automotive applications for component technologies

수많은 부품들이 요구되는 자동차는 하이브리드 제조기술의 현황을 살펴볼 수 있는 대표적인 제품이다. 자동차와 관련된 최근 주요 이슈는 친환경, 안전, 에너지 절감이며, 이러한 요구사항에 대응하기 위해 자동차메이커 및 부품업체들은 여러 가지 새로운 하이브리드 기술을 개발하고 또한 신모델에 적용하고 있다.

본 특집에서는 제조 분야에서의 하이브리드 기술을 소개하고 이에 대한 적용 사례를 자동차 부품위주로 살펴보고자 한다. 특히 본 특집에서의 하이브리드 제조기술은 소재보다는 가공·성형 관점에 초점을 맞추어 다루기로 한다.

\* 경북하이브리드부품연구원

\*\* 영남대학교 기계공학부

Tel. 053-819-3196, Fax. 053-819-3098

Email: so@ghi.re.kr

가공 및 CAD/CAM 특히, 5 축 고속 가공, 하이브리드 가공, 시스템 모델링 및 시뮬레이션 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

## 2. 본론

하이브리드 제조기술은 소재기술, 가공기술, 표면처리기술, 성형·접합기술, 부품일체화 기술 등 여러 분야로 나눌 수 있지만, 자동차부품에 주로 적용되는 가공·성형관련 기술은 Fig. 2 에 나타난 바와 같이 기반기술인 하이브리드 가공기술과 부품생산을 위한 성형 및 접합기술, 그리고 이러한 부품과 기술이 모듈화된 부품일체화 기술로 분류할 수 있다.

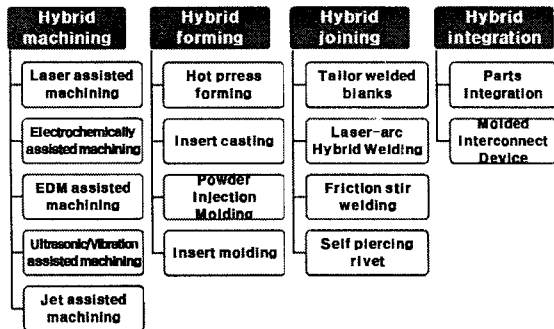


Fig. 2 Classification of hybrid manufacturing technologies for automotive applications

### 2.1 하이브리드 가공

전통적인 가공은 공작물 보다 더 단단한 재료로 만들어진 공구를 사용하여 소재를 제거함으로써 가공이 이루어진다. 재료의 특성이 향상된 다양한 신소재가 개발되면서 소재는 더욱 가공하기 어려워지고 상대적으로 기존의 가공에서는 생산성에 한계를 드러내게 되었다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 즉, 가공품질은 그대로 유지하면서 생산성을 높이기 위해 하이브리드 가공기술이 개발되었다. 하이브리드 가공은 가공에 참여하는 (독립적 또는 종속적)방식이나 주요 가공 메커니즘에 따라 분류하기도 하지만<sup>1</sup> Fig. 2 와 같이 본 특징에서는 일반적인 가공에서 추가되는 공정을 고려하여 분류하였다. 여기에서 제시한 레이저, 방전/전해, 초음파/진동, 기체/액체 분사의 메커니즘은 하이브리드 가공기술을 구성하는 독립적인 요소이며, 이러한 독립적인 요소를 상호보완적으로 융합함으로써 새로운 하이브리드 가공기술이 탄생된다.

LAM(Laser Assisted Machining)은 레이저의 열원을 예열, 절단, 열처리 등으로 응용하는 가공으로

밀링, 그라인딩, 절단 등 여러 분야에 응용되고 있다. 전형적인 예로서 Inconel 718 과 같은 난삭성 소재를 Fig. 3 과 같이 레이저로 예열과 동시에 가공하는 경우 가공효율과 공구수명 증가와 더불어 66%이상 비용절감이 가능한 것으로 보고되고 있다.<sup>2</sup>

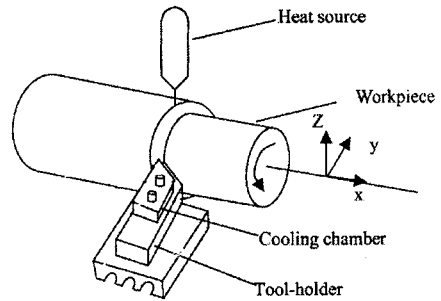


Fig. 3 Schematic Illustration of laser-assisted turning

전해가공(ECM)과 방전가공(EDM)은 일반적으로 연마가공에 적용되어 하이브리드 가공기술이 개발되어 왔다. Lucjan 등은 Fig. 4 의 방전-연마 하이브리드 가공과 방전가공의 가공 효율을 비교하기 위해 가공실험을 하였으며, 방전-연마 하이브리드 가공이 표면조도와 가공속도에서 50% 이상 효율을 높일 수 있음을 확인하였다.<sup>3</sup>

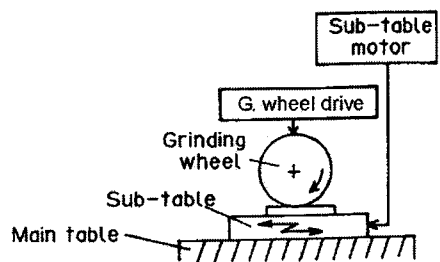


Fig. 4 Longitudinal grinding diagram for flat surface

초음파나 고주파 진동은 기존의 가공 시스템에 쉽게 적용할 수 있기 때문에 현재까지 이를 이용한 다양한 형태의 하이브리드 가공이 개발되었다. 생산성을 높이기 위해 드릴링이나 밀링에서 공구의 축방향으로 초음파 진동을 가하거나 EDM 연마에 초음파를 가하여 생산성을 향상시킨 사례는 흔히 찾아볼 수 있으며,<sup>1</sup> 최근에는 사출성형, MIM

등 성형 분야에서 고주파 진동을 가하여 성형성을 향상시킨 사례가 발표되고 있다. 대표적인 예로 Babitskya 등은 Inconel 718 과 같은 난삭성 소재의 터닝가공에서 공구 피드방향으로 초음파 진동을 부가하여 일반 터닝가공에 비해 40%~50% 가공효율 향상시켰다.<sup>4</sup>

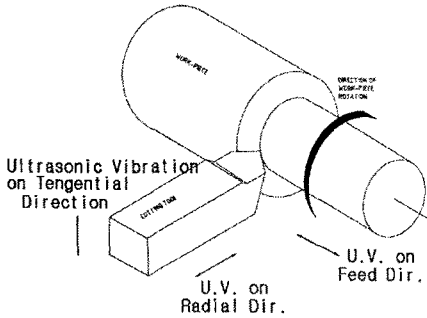


Fig. 5 Schematic illustration of ultrasonic assisted turning

기존의 가공에 워터젯을 추가하여 생산성을 향상시킨 사례도 다양하게 발표되고 있다. 스위스의 Synova 사는 워터젯과 레이저의 장점을 융합한 워터젯 응용 레이저 하이브리드 가공기술을 개발하고 이를 ‘레이저 마이크로젯’이라 명명하였다.<sup>5</sup> 레이저 마이크로젯의 원리는 Fig. 6 과 같이 레이저 빔을 머리카락 굵기의 미세 물줄기를 따라 보내면 레이저 빔은 물줄기 내에서 전반사를 통해 손실 없이 가공물에 전달되어 절단이나 그루브(Groove) 가공을 하는 것이다. 특히 레이저 마이크로젯은 워터젯이 레이저에 의한 가공 절단면을 신속하게 냉각시키므로 열에 민감한 재료에 대해 고품질 절단이 가능하다.

대부분 하이브리드 가공은 이중의 두 가공이 동시에 이루어지나 필요에 따라 이중의 가공이 한 시스템 내에서 순차적으로 이루어지는 사례도 있다. 일본 Sodick 사는 워터젯의 고속 절단과 와이어 방전가공의 정밀절단의 이점을 융합하여 생산성이 매우 높은 하이브리드 와이어 방전가공기를 개발하였다.<sup>6</sup> 이외에 미국의 Air Products and Chemicals 사는 최근 일반 절삭가공에 액체 질소를 분사하여 공작물과 공구 사이에서 발생하는 고온을 제어함으로써 경도가 높은 난삭성 소재에 대해 두 배 이상의 가공속도와 250%의 공구수명을 향

상시킨 사례도 보고되고 있다.

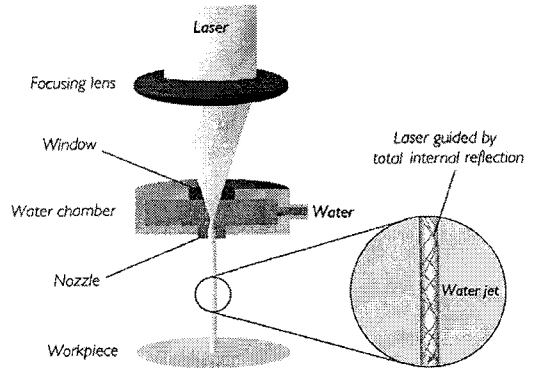


Fig. 6 Schematic illustration of water-jet guided laser cutting

## 2.2 하이브리드 성형

자동차부품에 적용되는 하이브리드 성형기술은 대부분 제품의 강도는 높이고 무게는 줄이는 경량화 기술에 초점이 맞추어져 있다. 열간 프레스 성형(Hot Press Forming)은 열처리와 프레스성형이 융합된 하이브리드 성형기술이다. 이것은 구체적으로 Fig. 7 과 같이 경량화를 향상시킨 강재를 고온으로 가열하여 프레스 금형에서 한번에 열간 성형을 한 후 급속 냉각함으로써 140~160kgf/m<sup>2</sup> 강도의 부품으로 성형하는 기술이다.<sup>7</sup>

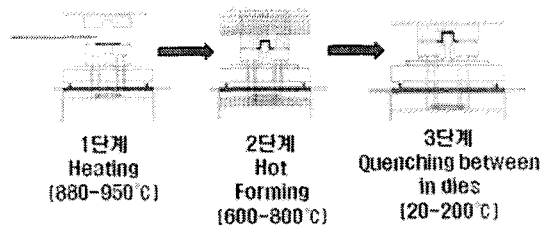


Fig. 7 Hot press forming process

열간 프레스 성형 제품은 기존의 프레스 성형 제품 보다 공정수, 성형성, 소재변형, 용접성 등 여러 가지 기계적 성질이 높으며, 특히 강도는 기존 고장력 강판의 2.5 배 수준이다. 국내에서는 POSCO 에서 본 기술을 주도하고 있으며, Fig. 8 과 같이 주로 자동차 B-Pillar, Side Sill, Door Beam 등 차체 강성 구조 부품에 적용되고 있다.

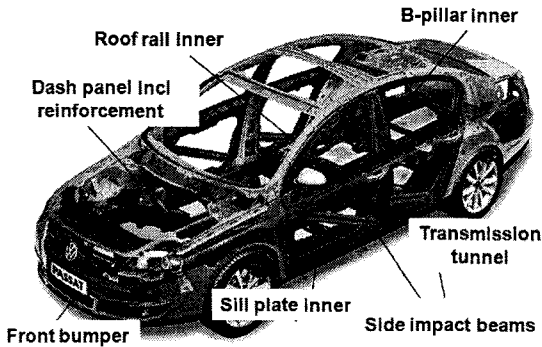


Fig. 8 Hot press forming application for automotive parts

같이 주로 자동차 B-Pillar, Side Sill, Door Beam 등 차체 강성 구조 부품에 적용되고 있다.

차량 경량화를 위한 하이브리드 성형기술은 소재기술과도 매우 밀접한 관계를 가진다. 특히 이종소재를 혼합하여 하나의 부품으로 성형하기 위해서는 이종소재간의 결합과 소재 특성이 잘 고려되어야 한다. 인서트주조(Insert Casting)는 이종의 소재를 삽입하여 하나의 부품으로 주조 성형하는 기술로서 주조 시 유입되는 용탕 열에 의해 금속간 화합물이 점화되고 동시에 이종소재의 주물 표면 개질 및 주조 접합으로 하나의 부품이 성형된다. 이러한 기술은 부품 부위에 따라 요구되는 기계적 성질이 다른 실린더 블록이나 피스톤에 효과적으로 적용된다.<sup>8</sup> Fig. 9의 실린더 블록은 무게를 줄이기 위해 기본적으로 마그네슘 소재를 적용하였으나 실린더 부위는 고온강도와 내마모성을 고려하여 알루미늄 소재를 적용한 사례이다.

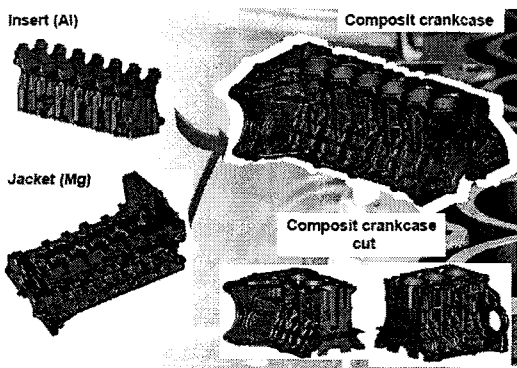


Fig. 9 Insert casting application for automotive cylinder block

금속분말소재를 이용하는 분말야금기술은 가공이 복잡한 기어류, 컨택팅 로드, 실린더, 크랭크 샤프트 등 자동차부품 제조에 중요한 비중을 차지하고 있다. 그러나 분말야금기술은 어느 한계치 이상 복잡하고 정밀한 부품을 성형하는 것은 어렵다. 분말사출성형(PIM)은 이러한 한계를 극복한 기술로서 기존의 분말야금기술과 정밀한 플라스틱 부품 제조기술인 사출성형기술이 융합된 기술이다. 분말사출성형은 기존 성형기술에 비해 복잡한 형상을 저렴하게 생산할 수 있으며, 밀도가 균일하고 높은 피로강도의 성형이 가능한 기술로서 금속사출성형(MIM : Metal Injection Molding)과 세라믹사출성형(CIM : Ceramic Injection Molding)으로 나뉜다. MIM 기술은 주로 시계나 휴대폰과 같은 고급 모바일 제품에 적용되었으나 최근 공정기술과 금형기술이 발전하면서 절삭공구와 자동차부품에도 적용할 수 있는 기술이 개발되고 있다. 일본의 Honda 사는 MIM 기술을 이용하여 Fig. 10의 Rocker-arm 을 개발하여 VTEC 엔진에 적용하고 있다.<sup>9</sup>

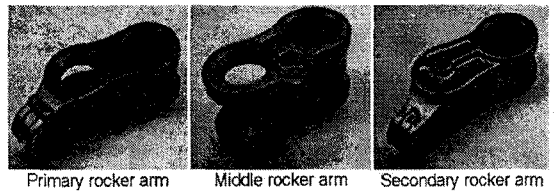


Fig. 10 Rocker-arm for VTEC engine made by MIM process (Honda)

두 가지 기술을 융합하는 방법 대신 하나의 성형공정에 이종의 두 소재를 동시에 사용하여 부품의 성능을 향상시키는 방법도 있다. Insert molding 은 사출성형공정에서 금속 등의 이종 소재를 사출금형에 삽입하고 수지를 사출하여 이종소재가 일체화된 부품을 성형할 수 있는 기술이다. Insert molding 에서 삽입되는 재료는 필요에 따라 다양한 재료가 가능하나 대부분은 이종재료의 특성이 서로 잘 보완되는 금속을 적용한다. 금속 소재를 적용한 Insert molding 제품은 초기에는 플라스틱 사출물로 금속 소재의 리브를 구성하여 부품을 강화시키는 목적이었으나 최근에는 필요에 따라 매우 다양한 방법으로 응용되고 있다.<sup>10</sup> 자동차 부품에는 Fig. 11 과 같이 차량 경량화를 목적으로

Front-end module, 도어 등에 적용되며, 부품 결합의 목적으로 자동차 시트의 Inner spring 의 조립에 응용되기도 한다.

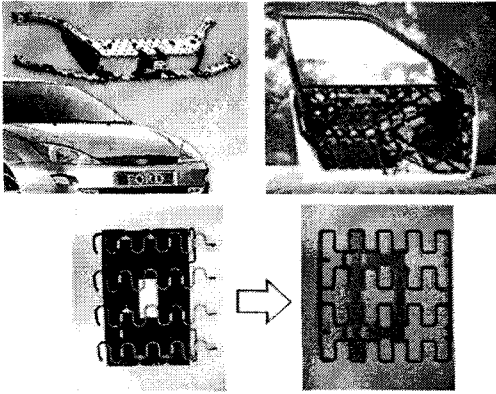


Fig. 11 Insert molding application for automotive module

### 2.3 이종소재 및 하이브리드 접합기술

자동차부품 조립에 적용되는 대표적인 이종소재 하이브리드 접합기술로서 TWB(Tailored Welded Blanks)기술이 있다. TWB 는 용접공정과 프레스공정으로 구성되며 자동차 내관을 제작할 때 프레스로 성형한 후 용접으로 붙이는 기존 방식과 달리 서로 두께가 다른 강판을 먼저 레이저로 용접한 뒤 프레스 가공으로 완성하는 기술이다. 이 기술은 보강재가 필요 없으며, 필요한 곳에 적합한 두께의 재료 사용이 가능하기 때문에 불필요한 무게를 줄일 수 있고, 재료의 선택이 자유로우며, 접합강도와 품질이 우수하여 Fig. 12 와 같이 그 적용 범위가 확대되는 추세에 있다.<sup>11</sup>

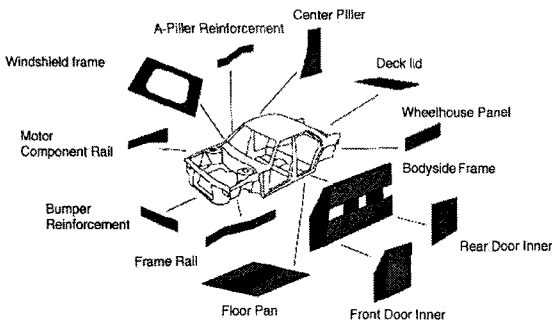


Fig. 12 Various tailor welded blank components used in an automotive structure

레이저용접은 용접부의 폭이 좁고 깊은 고속 용접이 장점인 반면 아크용접은 용접부를 메워주는 성능(gap-bridging ability)이 장점이다. 하이브리드 용접은 레이저와 아크의 이러한 장점을 서로 결합한 것으로 Fig. 13 과 같이 피가공물의 갭 허용범위가 넓고 기공 등의 결함이 적으며 깊은 용입특성을 얻을 수 있는 장점이 있다.<sup>12</sup>

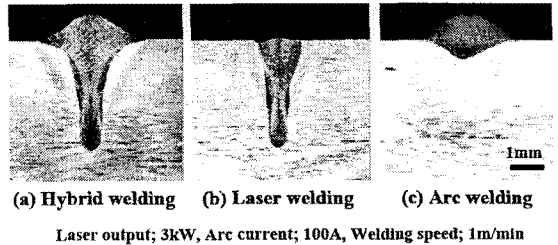


Fig. 13 Cross sections of hybrid, laser and arc weld beads

레이저-아크 하이브리드 용접기술은 다른 하이브리드 접합기술에 비해 자동차부품 분야에는 아직 활발히 적용되지 않고 있지만, 최근에 이러한 이점들이 재발견되면서 향후 많은 수요가 예상된다.

마찰교반용접(FSW : Friction Stir Welding)은 Fig. 14 와 같이 소재에 공구를 마찰시켜 발생하는 마찰열 및 소재의 소성유동을 이용하여 재료를 접합하는 기술로서 모재가 용융되지 않은 고상 상태에서 접합이 이루어져 열변형이나 용접부의 결함이 적은 접합기술이다.<sup>13</sup>

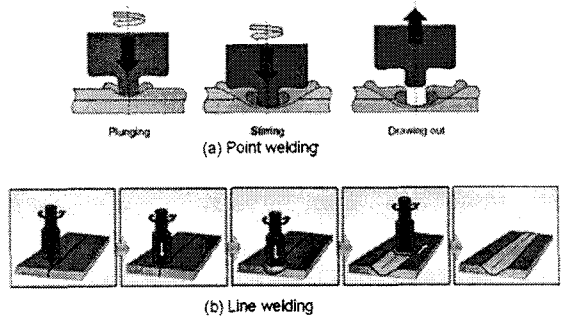


Fig. 14 Visual schematic of the three-step friction stir spot welding process

마찰교반용접은 현재 Toyota ES3 의 Bumper stay

와 Mazda RX-8(RR DR, T/LD INR) 등에 적용되고 있다.

### 2.4 부품 일체화 기술

부품 모듈화 기술은 여러 개의 기능성 부품을 하나의 부품으로 모듈화하는 기술로서 자동차의 부품 수를 줄여 관리 조립비용 감소, 차량 중량감소, 연비향상과 더불어 제품의 내구와 신뢰를 높일 수 있는 기술이다. 부품 모듈화를 위해서는 여러 가지 하이브리드 성형이나 접합 기술이 필요하며 스티어링 기어 프레임, 너클휠허브 유닛, 연료탱크 일체형 프레임 등의 여러 가지 응용 사례가 있다. Fig. 15 는 국내 1사에서 최근에 개발하여 소형차에 적용한 사례로서 차량의 액슬모듈(Axle module)에서 너클(Knuckle)과 휠허브베어링(Wheel hub bearing)을 일체화하여 생산성 및 품질 향상과 10%이상의 경량화에 성공한 사례이다.

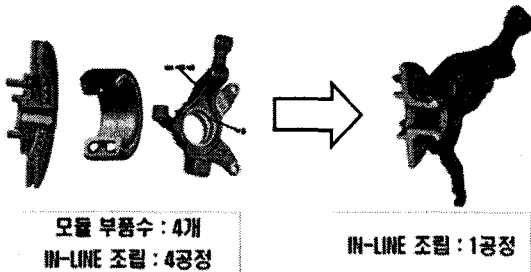


Fig. 15 Knuckle and wheel hub bearing integration for axle module

MID(Molded Interconnect Device)란 수지 성형품 표면 위에 도금과 휠 등의 금속막으로 삼차원적인 회로/전극 패턴을 형성한 몰드부품으로 회로설계, 기구설계, 실장기술, 재료기술, 금형기술, 성형기술, 도금기술, 인쇄사진기술 등 광범위한 기술의 통합으로 이루어진 일체화 기술이다. MID 기술은 내부의 공간을 효율적으로 활용함으로써 부품의 경량화, 고품질화, 소형화가 가능하여 현재 자동차 조향 핸들 스위치, 윈도우 리프터, 센서류 등에서 활용되고 있다.<sup>14</sup> Fig. 16 은 미국 TRW 사에서 MID 기술을 이용하여 자동차의 다기능 조향 핸들에 적용한 사례로서, 핸들에 회로, 스위치, 센서, Horn 등을 일체화 함으로써 조립공정과 제품 불량을 효과적으로 줄인 사례이다.<sup>15</sup>

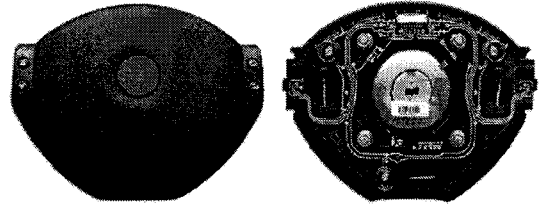


Fig. 16 3D MID application for automotive steering wheel system

### 3. 결론

이제까지 하이브리드 제조기술에 대해 가공기술, 성형기술, 접합기술 그리고 일체화 기술로 나누어 자동차 부품기술에 적용된 사례를 통하여 전반적으로 살펴보았다.

하이브리드 제조기술은 산업의 근간이 되는 기술이므로 하이브리드 기술을 통한 생산기술의 발전은 산업전반에 상당한 파급효과를 가져올 수 있다. 일본 등 선진국의 경우 하이브리드 제조기술에 대해 지속적인 투자와 연구개발을 통해 앞에서 기술한 대부분의 하이브리드 기술을 상품화 하였으며 이를 바탕으로 높은 생산성과 기술 경쟁력을 변함없이 유지하고 있다. 다소 늦은 감이 있지만, 우리나라도 근래에 와서 하이브리드 제조기술에 관심을 두고 기술도입과 연구개발을 추진하고 있다. 향후 우리나라 산업의 경쟁력을 위해서는 하이브리드 제조기술에 대한 기업체의 지속적인 투자와 연구개발이 수행되어야 하며, 더불어 이러한 연구개발이 지속적으로 활성화될 수 있도록 국가차원의 정책적인 지원도 필요하다.

### 참고문헌

1. Hassan, E. H., "Advanced Machining Processes: Nontraditional and Hybrid Machining Processes," McGraw-Hill, pp. 1-53, 2005.
2. Anderson, M., Patwa, R. and Shin, Y. C., "Laser-assisted machining of Inconel 718 with an economic analysis," International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 46, No. 14, pp. 1879-1891, 2006.
3. Lucjan, D. and Mieczyslaw, M., "Investigation into hybrid abrasive and electrodischarge machining," Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 5-12, 2005.

4. Babitskya, V. I., Kalashnikov, A. N. and Meadows, A., "Ultrasonically assisted turning of aviation materials," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 132, No. 1-3, pp. 157-167, 2003.
5. <http://www.synova.ch>
6. <http://www.sodick.jp/product/hybrid/index.html>
7. Son, H. S., Kim, H. K., Choi, B. K. and Park, S. H., "Formability Evaluation for Hot Press Formed Body Part Using High Temperature Forming Analysis," *The Korean Society of Automotive Engineers Autumn Conference*, p. 1245, 2006.
8. Uthayakumar, M., Prabhakaran, G., Aravindan, S. and Sivaprasad, J. V., "Study on Aluminum alloy piston reinforced with cast iron insert," *International Journal of Material Science*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-10, 2008.
9. Akira, F., "Present state and future prospects of powder metallurgy parts for automotive applications," *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 67, Issues 1-3, pp. 298-306, 2001.
10. Chang, R. Y., "Three-Dimensional Insert Molding Simulation in Injection Molding," *Society of Plastics Engineers Conference Proceedings*, Vol. 1, pp. 496-500, 2004.
11. Ananda, D., Chena, D. L., Bhole, S. D., Andreychuk, P. and Boudreau, G., "Fatigue behavior of tailor (laser)-welded blanks for automotive applications," *Materials Science and Engineering*, Vol. 420, Issues 1-2, pp. 199-207, 2006.
12. Moriaki, O., Yukio, S., Akihida, Y. and Masanori, O., "Development of Laser-arc Hybrid Welding," *NKK Technical Report*, Vol. 1, No. 176, pp. 70-74, 2002.
13. Hovanski, Y., Santellab, M. L. and Granta, G. J., "Friction stir spot welding of hot-stamped boron steel," *Scripta Materialia*, Vol. 57, No. 9, pp. 873-876, 2007.
14. Jens, K. and David, M., "3D-MID: Multifunctional Packages for Sensors in Automotive Applications," *10th International Forum on Advanced Microsystems for Automotive Applications*, pp. 369-378, 2006.
15. <http://www.trw.com>