

자동차와 구조세라믹스

Automotives and Structural Ceramics

이 준 근
J. G. Lee



이 준 근
• 1945년 3월생
• 한국과학기술연구원 세라믹스 연구부 부장
• 엔진용 구조세라믹스

1. 머리말

자동차와 구조 세라믹스 그것은 과연 맺을 수 없는 인연인가? 이것은 벌써 20여년이나 심각하게 물어왔던 질문이다. 이제 그 질문에 대한 답들이 전문가들 사이에서 구체화되는 시점이다. 물론 이런 질문에 대한 답은 단순히 '예스'나 '노'가 아니라 항상 몇 가지로 나누어지게 마련이다. 이 경우도 예외는 아니어서 극단적인 비관론에서부터 낙관론까지 여러 가지로 나오고 있다. 이 글은 필자 나름대로의 답을 제시하고자 쓴 것이다.

자동차를 포함한 세계의 내연기관 시장은 매년 4천만 대 이상을 다루는 대형시장이다. 따라서 다른 분야도 마찬가지로 구조 세라믹스 분야에서 일하는 사람들에게 자동차 시장은 그야말로 황금시장이다. 다시 말해서

세라믹스 부품이 자동차에 쓰이게 하기 위해서 우리가 전력투구할 driving force는 차고 넘친다는 것은 분명한 사실이다. 사실 돌이켜 보면 지난 20여년 동안 그렇게 해온 것도 거의 사실이다. 특히 미국, 일본, 독일에서 그랬다.

생각해 보면 생각해 볼수록 놀라운 일이지만 우리와 그렇게 가까운 생활의 이기(利器)인데도 자동차만큼 열효율이 나쁜 기관도 없다. 문외한이라도 연소장치에 냉각장치가 같이 붙어 있으니 효율이 나쁠 것은 쉽게 짐작이 갈 수 있다. 따라서 자동차 공업 분야에서 일하는 사람들도 세라믹스 분야에 일하는 사람들 못지않게 세라믹스가 응용되는 경우 효율향상에 획기적이라는 사실을 잘 알았고 또 지금까지 그 실현을 위해 많은 노력을 했다는 것도 분명한 사실이다.

그러나 아직도 같은 질문을 거듭하고 있는 것을 보면 이미 어느 정도 결론은 나 있는지도 모른다. 그렇다 현 시점에서 냉철한 눈으로 보았을 때 자동차에서 세라믹스의 응용은 부분적으로 성공했을 뿐 전체적으로는 실패하고 말았다.

먼저 그 변명부터 늘어놓자. 위 결론에서

중요한 것은 현 시점에서라는 말이다. 다시 말해서 현재는 이루지 못했지만 앞으로는 이루어질 것이라는 강한 암시가 있다. 왜냐하면 구조 세라믹스가 자동차에 채용되는 데 있어 대표적 예가 될 질화규소 밸브를 대상으로 그 현황을 분석하고 결론을 내리기로 하자.

2. 세라믹 터보차저(Ceramic Turbocharger)

터보차저란 엔진에서 나오는 배기로 바람개비같이 생긴 로타(rotor)를 돌리고, 이 로타에 연결되어 같이 돌아가는 다른 로타로 압축된 공기를 엔진속으로 밀어 넣어주는 장치이다.

질화규소로 배기 로타를 만든 세라믹 터보차저는 현재까지 구조 세라믹스가 자동차에 적용된 가장 성공적 예이다. 그 동안 예열 프러그, 록커 암팁, 와류실 등 여러 부품에 세라믹스가 적용되었지만 사용조건에 있어서 단연 터보차저가 가장 가혹하기 때문이다.

터보차저는 600°C 이상의 고온에서 분당 250,000 회전이상으로 돌아가 열용력에 기계적 응력이 겹치는 그야말로 구조 세라미스트들에게는 도전해 볼만한 부품이었다. 뿐만 아니라 세라믹 로타는 금속제 샤프트에 연결되어야 하기 때문에 이 개발은 세라믹스-금속 접합문제까지 해결해야 되는 난제였다.

그러나 1985년 질화규소(窒化硅素, silicon nitride) 로타를 사용한 세라믹 터보차저가 일본 NGK/NTK에서 제조되어 실용화되었을 때 우리는 국경을 넘어 축하의 박수를 보냈다. 또 이 때문에 앞에서도 지적한 바와 같이 구조 세라믹스의 앞날을 밝게 예측하기도 했다.

실제로 일본에서의 세라믹 터보차저 사용

은 그 낙관적 예측을 뒷받침이라도 하듯 1985년부터 1995년까지 꾸준히 늘어나 25,000개까지 올라갔다. 그러나 작년 말부터는 그 사용이 더 이상 확산되지 못하고 또 사용하는 나라도 일본에만 국한된 상태가 그대로 이어지고 있다. 그 주원인은 DOHC 엔진과 같은 고성능 엔진의 출현과 713C 합금을 사용한 금속 터보 차저의 디자인 향상으로 세라믹 터보차저의 장점이 많이 감소되었기 때문이다.

현재는 세라믹 터보차저가 일본 차종중에서 주로 스포츠 카나 고급 자동차에만 쓰이고 있어 앞으로 수요가 더 늘어날 전망은 어두운 편이다. 그리고 일본 자동차 회사인 Nissan사와 Toyota사가 유럽에 진출해있어서 앞으로 세라믹 터보차저를 장착한 자동차가 유럽시장에 나타날 가능성도 충분히 높지만 다른 메이커로 파급될 가능성은 낮은 편이다.

비록 시장개척에 있어서 크게 성공은 못했지만 이 세라믹 터보차저의 실용화는 여러 가지 의미에서 우리에게 커다란 전환점을 만들었다. 즉, 세라믹도 자동차의 dynamic part에 당당히 적용될 수 있다는 것을 가시적으로 보여준 것이다. 또 우리에게 세라믹 밸브, 세라믹 가스터빈 등의 개발에 새로운 자신감을 심어준 것도 사실이다.

3. 세라믹 밸브(Ceramic Valve)

밸브란 엔진에서 연소실에 공기를 공급하고 연소된 배기를 내보내는 장치이다. 따라서 경량성, 내열성, 단열성 등의 특성이 요구되는데, 질화규소가 가장 적합하여 일본 NGK사, 독일 Hoechst Ceram Tec사에서 1백만km 이상 주행시험을 성공적으로 마쳐 제품화를 바로 눈앞에 두고 있는 부품이다.

밸브의 채용은 기술적으로 세라믹 터보차저 채용 이상의 큰 의미를 갖는다. 내연기관에서 가장 온도도 높고(배기 밸브의 경우 약 900℃) 응력도 많이 받는다(엔진이 7,000rpm으로 달릴 때 분당 3,500회 개폐 cycles) 부품의 하나이기 때문이다. 세라믹 밸브로 요구되는 특성을 정리해 보면 흡기 밸브의 경우 350℃에서 800MPa, 배기 밸브의 경우 1,000℃에서 900MPa의 격임강도가 요구되고, 또 자동차 부품으로써 파괴확률 1PPM 이하를 유지하기 위해서는 Weibull Modulus 20 이상이 요구된다. 또 상업적으로도 마찬가지로 터보차저 로타처럼 일부차종에만 쓰이는 것이 아니라 전차종으로 사용이 확대될 가능성이 있기 때문이다.

이 질화규소 밸브의 채용에 있어서 가장 적극적이고 또 선두주자의 자리를 지키는 회사는 Benz사이다. 따라서 구조 세라믹스에서 일하는 과학자들은 Benz사의 움직임에 신경을 곤두세우고 있다. 만일 세라믹 밸브가 본격적으로 채용된다면 그 동안의 기술개발 투자는 결코 헛되지 않았다는 것을 증명하기 때문이다. 세라믹 터보차저와 마찬가지로 질화규소 밸브의 실용화는 또 하나의 전환점이 될 수 있는 것이다.

현재까지의 진전을 보면 그 전망은 아주 밝다. M104 엔진을 탑재한 Benz 300E 자동차로 120,000km 주행시험에서 연비향상 10% 향상이 입증되었기 때문이다. 이것은 세라믹 밸브가 기존의 금속 밸브에 비해 2배 이상 가볍고 단열성이고 다른 연결부품들도 작아지는 등 여러 가지 요소가 복합적으로 작용한 결과이다. 뿐만 아니라 엔진 소음도 3,000rpm에서 18db나 낮아져 자동차를 '제2의 배우자'로 생각하는 오늘날의 소비자에게 수치로 나타나는 이상의 효과를 제공할 수 있다는 것도 중요한 이유이다.

그동안 두 가지 큰 문제점이 세라믹 밸브의 상용화를 가로 막았었는데, 하나는 주원료인 질화규소 분말이 비싸다는 것이고 또 하나는 성형-소결된 질화규소 밸브의 최종 기계가공 비용이 전체 생산비의 반 이상 차지한다는 점이었다. Hoechst Ceram Tec사의 분석에 의하면 세라믹 밸브의 생산비에 있어서 기계가공비가 44%, 소결비용이 23%, 원료비가 23%, 기타 비용이 10%로 밝혀졌다. 기계가공시간에 있어서 금속 밸브가 불과 30초가 걸리는데 비해 질화규소 밸브는 개발 초기에 수십 분까지 걸렸다. 앞에서 말한 바와 같이 이 응용으로 자동차의 성능이 향상되는 것은 입증되었으나 부품가격은 올라가고 만다는 딜레마에 빠져 있었던 것이다.

그러던 이제는 개발초기보다 질화규소 분말의 가격이 반으로 떨어졌고 다시 반으로 떨어질 것이 확실시 되어 첫번째 문제는 해결된 것으로 보아도 괜찮다. 또 기계가공시간도 질화규소의 가공 메카니즘이 급속가공(Quick Process)이 오히려 좋다는 것과 급속가공이 질화규소 밸브의 기계적 특성을 나쁘게 하지 않는다는 사실이 밝혀짐에 따라 1993년 1분대로 떨어졌고(Benz사 및 NGK-Belgium 사) 지금은 1분 이하로 떨어졌다.

또 표면층 약 1mm를 기계가공으로 제거하는 것이 질화규소의 강도를 거의 두 배 가까이 높이는 것이 판명되었다. 질화규소를 소결해 보면 항상 소결촉진제의 증발 및 반응 등으로 표면층 약 1mm 정도가 기공, 균열 등의 결함이 많이 나타나기 때문이다. 그 결과 표면층 1mm를 급속기계가공한 질화규소 밸브의 특성은 상온 격임강도 1,400MPa에 Weibull Modulus 20에 달하게 되었다.

지금의 계획으로 보면 Benz사는 Hoechst Ceram Tec.사 및 NGK-Belgium 공장으로부터 질화규소 밸브를 공급받아 1998년에

질화규소 밸브의 본격적 실용화를 계획하고 있다. 또 다른 자동차 회사도 실지로는 모두 질화규소 밸브를 자체적으로 시험중에 있다. 따라서 1998년에 Benz사의 질화규소 밸브 채용이 현실화되면 다른 자동차 회사의 확산은 아주 빨리 이루어질 것으로 예측되고 있다.

Benz사가 질화규소 밸브의 채용에 있어서 다른 자동차 회사를 앞지르고 자신감을 가지고 있는 이유는 자체 기술축적을 이용하여 밸브의 디자인을 세라믹스의 특성에 맞게 새로 디자인했다는 데에도 있다. 즉, Benz사는 밸브 스프링 groove나 밸브 씨트(valve seat)와 닿는 부분의 최대응력을 각각 550MPa 및 350MPa 이하가 되게 디자인하여 질화규소의 보장강도 이내에 있도록 한 것이다.

4. 맺음말

한 마디로 말해서 활성화의 원동력은 시장이다. 분말의 표면적이 클 때 물질 이동이 활발해져서 소결이 일어나는 것처럼 어떤 제품의 시장이 클 때 연구개발 및 제품화의 활성화는 일어나는 것이다. 시장이 없는 상태에서 활성화는 언덕으로 돌을 굴러 올리는 것처럼 어렵고 또 어떤 의미에서 어리석은 일이다.

여기서 한 가지 주의해야 할 것은 시장에 대한 정의이다. 왜냐하면 시장이라는 것은 현재시장과 미래시장을 다 포함하기 때문이다. 즉, 지금 보이는 시장과 적어도 이삼년 내에는 보이는 시장뿐만이 아니라 십년 후에 나타날 시장까지 다 함께 말하는 것이다. 선진국에 비해 구조 세라믹스 분야에서 우리나라가 뒤지고 있는 것은 이 점에서 산·학·연의 견해 차이가 있는 것이 주원인인 것으로 본다.

후진국의 활성화는 당연히 눈에 보이는 현재시장을 중심으로 일어난다. 태국과 중국에서 신발 공장과 화학섬유 공장이 신나게 돌아가고 있는 것이 좋은 예이다. 우리나라도 10년 전에는 바로 그랬다. 반면에 선진국의 활성화는 다분히 미래지향적이다.

10년 전에만 해도 출장 가서 보고 전시회에 가서 본 제품을 모방하거나 기술제휴를 해서 국산화를 이루는 제품이 있었다. 그러나 그 시대는 거의 지나갔다. 우리는 이제 어느 기업 총수가 말했듯이 정치만 후진성을 면치 못하고 있지 경제는 선진국 수준 가까이 있는 것이다. 이대로의 답습으로는 중국이나 말레이시아 등 후발국의 추격을 뿌리칠 수 없다.

후발국의 추격 못지않게 선진국은 UR, GR, WTO 체제로 우리를 압박하고 있다. 우리는 아무런 보호 없이 벌거벗은 상태로 선진국과 싸워 나가지 않으면 안된다. 정부의 보호 정책 대신 독자 기술로 무장해야 하고, '베끼기'에서 벗어나 독자 산업을 이루어야 살아남을 수 있다. 그러기 위해서는 스스로 기술개발을 하지 않으면 안된다는 선택의 여지가 없는 결론에 이르게 된다.

즉, 전과는 달리 시장 개방 물결에 대한 수세적 입장에서 능동적 대응으로 바꾸어야 하는 전환점에 놓여 있다. 앞으로의 우리 산업은 고유 기술 및 고유 산업으로 무장하고 선진국과 경쟁하고 후진국을 공략해야 하는 입장에 있다. 남의 회사 기술자 몇 명 빼내어 제품 개발을 해 봤자 그 개발은 남에게 기술자 몇 명 뺏기면 똑 같은 꼴을 당하게 마련이다. 또 선진국 기술자 몇 명 데리고 와서 개발해 봐야 그 기술이 오래 지탱될 리 없다.

오디오 및 비디오 테이프의 대명사 노릇을 하던 미국의 3M 사도 한국과 같은 후발국들의 추격에 의한 수익성 문제로 그 사업을 포

기하고 말했다. 우리도 지금은 전세계 테이프의 반을 만들어 팔지만 동남아의 다른 후발국들의 추격으로 사업 포기를 하지 않으면 안되는 때가 오지 않는다고 누가 장담할 수 있겠는가? 한국이 지금 벌리고 있는 여러 세라믹스 산업을 볼 때 2000년대에 살아남을 분야가 몇 개인가를 생각해 보면 정말 아찔하다.

마찬가지로 선진국형으로 가는 산업 구조를 뒷받침하기 위해서는 우리의 연구개발 구조도 선진국형이 아니면 안된다. 물론 다 그래야만 된다는 것은 아니지만 큰 줄거리는 선진국형으로 추진되어야 한다는 말이다. 구조세라믹스 분야도 예외는 아니다. 왜냐하면 현재시장이 있는 제품은 대부분 기업화가 이루어졌고 우리가 다루어야 할 시장은 미래의 잠재 시장이기 때문이다. 우리의 고민은 바로 여기에 있다. 미래라는 말, 또 잠재라는

말, 둘다 현재 구조 세라믹스를 하고 있는 기업의 체질로 봐서는 별로 구미다 당기는 말이 아니기 때문이다.

그러나 필자가 여기서 강조하고 싶은 것은 구미가 당기고 안 당기고를 떠나서 우리에게 다른 선택의 여지가 별로 없다는 점이다. 적어도 미래에 살아남기를 원하고 발전하기를 원한다면 말이다.

다시 처음의 질문으로 돌아가자. 자동차와 구조 세라믹스, 그것은 과연 맺을 수 있는 인연인가? 그 답은 '예스'이다.

참 고 문 헌

1. John Briggs, "Engineering Ceramics in Europe", Pearson Professional Ltd., London, 1995.