

차량용 에어컨 압축기의 선조질강 헤드 볼트 개발에 대한 연구

김 영 신^{*1)} · 김 호 겹²⁾ · 황 승 용³⁾ · 김 영 만²⁾

한온시스템 선형원가혁신팀¹⁾ · 성원산업 영업개발부²⁾ · 한온시스템 기계식COMP팀³⁾

A Study on Development of Pre-heat Treated Steel Head Bolt for Swashplate Type Compressor of Car Air-conditioner

Youngshin Kim^{*1)} · Hokyoun Kim²⁾ · Seungyong Hwang³⁾ · Youngman Kim²⁾

¹⁾Hanon Design Cost Innovation Team, Hanon Systems, 95 Sinilseo-ro, Daedeok-gu, Daejeon 34325, Korea

²⁾Development Division, Sungwon Ind., 611 Mamyeon-ro, Jeongnam-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi 18516, Korea

³⁾Mechanical Compressor Team, Hanon Systems, 95 Sinilseo-ro, Daedeok-gu, Daejeon 34325, Korea
(Received 9 May 2016 / Revised 10 July 2016 / Accepted 19 July 2016)

Abstract : This paper is a study on head bolts that are used in A/C compressors to reduce production cost and solve leak problems on the head bolt seat area that causes massive intermittent malfunctioning during production. In this study, the pre-heat treated steel, which was used as a material in the head bolt, eliminated the heat treatment process after forging. The pre-heat treated steel head bolts, which have 10 % lower tensile strength than the conventional SCM 435 head bolts, were selected after considering the results of creeping rupture properties, axial force, and stress concentration per tensile strength variation. Then, the performance test and the durability test with the A/C compressor that was assembled with the pre-heat treated steel head bolts were performed and verified. Based on the results, the pre-heat treated steel head bolts developed in this study saved 7.3 % in production cost by eliminating the heat treatment process and the logistics process. Furthermore, the leak problem on the head bolt seat area in the A/C compressor was addressed significantly on the mass production assembly line.

Key words : Air-conditioner(에어컨), Compressor(압축기), Head bolt(헤드볼트), Pre-heat treated steel(선조질강), Tensile strength(인장강도)

1. 서 론

기계 산업의 꽃이라고 일컬어지고 있는 자동차 산업에서 승용차 한 대에는 약 2만개 이상의 많은 수의 부품이 사용되며 그 중에서도 볼트는 다양한 종류가 각기 다른 환경 속에서 주어진 기능을 수행하기 위해 사용되고 있다. 그중에서도 엔진과 그 주

변 부품의 경우에는 가장 열악한 환경에 노출되어 있기 때문에 다른 부위에 사용되는 볼트들보다 훨씬 더 강건하게 설계가 되어야만 한다.

차량용으로 사용되고 있는 대부분의 볼트는 운전자의 안전에 직결되는 중요한 부품으로서 체결과 풀림 현상에서부터 토크 등과 같은 기능에서 형상, 소재 개발 등과 같은 기초 연구에 이르기까지 다양한 연구들이 지속적으로 이루어지고 있는 추세이다. 이경은 등¹⁾은 볼트의 형상이 피로 특성에 미치는 영향에 대하여 연구를 진행 하였으며, 볼트의 형

*A part of this paper was presented at the KSAE 2016 Spring Conference

*Corresponding author, E-mail: a95006@naver.com

상 설계를 개선함으로써 피로 파괴를 개선할 수 있다는 것을 알아내었다. 송창규 등²⁾은 볼트를 체결할 때의 진동 크기에 따라서 마찰 계수가 변화됨을 알아내었으며, 볼트의 사용 목적에 따라서 적절한 공구의 사용을 결정 할 필요가 있음을 연구하였다. 정진환 등³⁾은 볼트 머리 좌면부의 세레이션 형상에 따라서 풀림 토크가 영향을 받는다는 것을 실험을 통하여 밝혀냈으며, 이재학 등⁴⁾은 볼트 체결력 변화에 따른 결합부 강성의 변화에 대하여 실험을 진행하여 적절한 체결력의 중요성을 알아내었다. 박진우 등⁵⁾은 차량용으로 사용되는 고탄소강 볼트의 원가 절감을 위하여 제조 공정에서 어닐링 공정을 제거한 저탄소 보론강을 개발 하였다. 박지태 등⁶⁾은 선조질강 소재인 ESW95의 기계적 성질에 대한 연구를 통하여 선조질강의 특성에 대하여 소개하였으며, 김영신 등⁷⁾은 선조질강 소재를 이용한 압축기용 헤드 볼트 개발을 수행하였다.

본 연구에서는 차량용 에어컨 압축기에 사용되는 SCM435 헤드 볼트에 대하여 원가 절감을 도모함과 동시에 압축기 조립 공정에서 간헐적, 로트성으로 발생하는 헤드 볼트 머리 좌면부와 압축기 프론트 헤드의 볼트가 안착되는 접촉부간의 리크 문제를 해결하고자 하였다. 선행 연구들을 참고하여 적절한 볼트 소재를 선정하고자 하였으며, 차량용 압축기에서 요구하는 기능상의 특성을 만족하는 최적의 사양을 개발하고자 볼트 단품과 압축기 조립 상태에서 다양한 실험과 검증 평가를 수행 하였다.

2. 압축기용 헤드 볼트

차량용 에어컨 압축기에 사용되는 헤드 볼트의 기능과 특성을 고려하여 본 연구 목적을 달성하기 위하여 기존 SCM435 볼트를 대체할 소재를 선정하였다.

2.1 헤드 볼트의 기능과 특성

차량용 에어컨에 사용되는 압축기는 거의 대부분 엔진에 직접 체결되기 때문에 엔진으로부터 전해져 오는 진동을 그대로 전달 받게 되며, 엔진 자체적으로 발생시키는 열과 엔진 쿨링을 위해 차량 전면에 위치한 열교환기로부터 불어오는 고온 상태의 공기 환경에 노출되는 등 차량에서 받을 수 있는 가장 열

악한 조건에 놓여 있다. 그러한 환경 속에서도 압축기는 에어컨 본연의 역할인 탑승자의 쾌적한 환경을 조성하기 위하여 저온 저압의 냉매를 고온 고압 상태로 압축, 토출하는 기능을 정상적으로 수행하여야만 한다. 본 연구에서 사용한 가변 사판식 압축기의 경우 수십 가지의 부품들로 구성되어 있으며, 그중에서도 헤드 볼트는 압축기의 핵심 부품을 제외한 부품들 중에서 거의 유일하게 압축기 설계 단계에서부터 중요하게 고려되는 부품이다.

압축기용 헤드 볼트는 압축기의 주요 기능 부품들을 안전하게 감싸주는 기능을 하는 여러 개의 하우징을 안정적으로 체결해주는 역할을 하고 있으며, 압축기 특성상 축 방향으로 길게 구성된 하우징을 체결하여야 되기 때문에 다른 대부분의 볼트들에 비해 몸통 대비 전장 길이가 훨씬 긴 것이 특징이다. 이처럼 볼트의 몸통 대비 전장 길이가 긴 볼트의 경우 적절한 체결 토크를 확보하면서 동시에 내구 성능을 유지하는 것은 일반 용도의 볼트들에 비해 상대적으로 어려움이 있으며, 볼트 체결 토크가 설계 기준 값에 미달하게 되면 진동에 의해 쉽게 풀림 현상이 발생하게 되어 압축기 내·외부의 리크를 초래하여 압축기의 성능 저하 및 기능 상실을 초래하게 된다. 반대로 체결 토크 값이 설계 기준 값을 초과하게 되면 압축기 내부의 부하 과다로 압축기가 작동하는데 과도한 동력이 소모되게 됨은 물론 볼트의 파손을 초래하여 내구 성능을 만족하지 못하게 된다.

또한, 압축기를 개발함에 있어서 중요한 설계 검토 사항중 하나는 패키지로서 갈수록 복잡해지는 엔진룸의 공간적 제약 및 연비 증대를 위해 패키지 즉 중량을 최소화하는 것이 압축기 설계의 핵심 키워드가 되고 있다. 때문에 압축기의 중심축을 기준으로 최 외곽으로 모델별로 5~7개씩 조립이 되는 헤드 볼트의 경우 몸통의 크기는 압축기의 패키지 볼리로 직결되기 때문에 신규 개발되는 압축기에서는 헤드 볼트 몸통이 M8에서 M6으로 점차적으로 축소되고 있는 추세임을 알 수 있다. Table 1은 당사에서 개발해 온 사판식 압축기의 개발 시기별 헤드볼트 사양을 보여주고 있다.

Fig. 1은 본 연구에서 개발 검토한 가변 사판식 압축기의 단면도로서 헤드 볼트는 프론트 헤드와 실

Table 1 Comparison of head bolt for swashplate type compressor

	Diameter (mm)	Pitch (mm)	Length (mm)	Length/Dia	Comp. type
1st generation	8.0	1.25	100	12.5	Fixed
	7.0	1.0	140	20.5	
	7.0	1.0	123	17.6	Variable
	6.0	1.0	133	22.2	
2nd generation	7.0	1.0	110	15.7	Fixed
	7.0	1.0	146	20.9	
	6.0	1.0	131	21.8	Variable

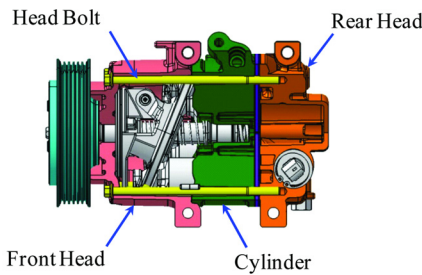


Fig. 1 Section view of variable swashplate type compressor

린더, 리어 헤드의 3개로 이루어진 하우징을 압축기가 정상적으로 작동할 수 있도록 적절한 힘으로 체결해주는 기능을 담당하고 있다. 고정 사판식 압축기의 경우에는 실린더가 하나 추가되어 총 4개의 하우징을 체결해주고 있다.

2.2 선조질강

통상적으로 높은 체결 강도와 내구성이 요구되고 있는 자동차용으로 주로 사용되고 있는 SCM435 볼트의 경우 원소재 업체에서 생산된 무른 조직의 와이어 상태로부터 단조 공정을 거쳐 요구되는 형상을 성형하게 되며, 각각의 볼트 용도에 맞게 설정된 열처리 과정을 통하여 조직을 변화시키고 인장 강도를 요구 수준까지 맞추게 된다. 또한 차량의 외부에 노출되는 곳에 사용되는 대부분의 볼트들은 부식 내구 성능을 만족시키기 위하여 전기 도금과 같은 별도의 표면처리 과정을 거치게 되며, 이러한 도금 과정을 거치게 되면 볼트의 나사산 부위의 형상 불균일성이 커지게 되는데 일반적인 체결용 볼트의 경우 조립 토크의 증대 또는 회전력 증대를 통하여 이를 해결할 수 있겠으나, 압축기용 헤드 볼트의 경

우에는 기준 조립 토크가 정해져 있기 때문에 도금 후에 별도의 토크 안정제 처리 과정까지 거쳐야만 완제품으로 압축기 조립에 사용될 수 있게 된다.

본 연구에서는 볼트 단조 성형 후에 이루어지는 열처리 공정으로 인하여 발생하는 것으로 추정되는 압축기 조립 공정의 리크 문제를 해결하고, 열처리 공정 및 물류비용의 절감을 고민하던 중 박지태⁶⁾ 등이 연구 개발한 선조질강 소재를 이용하여 압축기용 헤드 볼트를 개발하고자 하였다.

선조질강 소재는 기존의 SCM435 볼트 소재와는 달리 원소재 업체에서 볼트 완성품을 제작하는 업체로부터 요구받은 소재 와이어를 제조하는 공정에서 열처리 공정을 추가하여 인장 강도 값과 같은 제품의 특성을 부여하여 제작되어진다. 선조질강의 경우 열처리가 2번의 공정을 통하여 진행되기 때문에 정밀하게 인장 강도 값을 조정할 수 있는 매우 효율적인 공정임을 확인할 수 있었다. 따라서 선조질강 소재를 이용하여 볼트를 제조하게 될 경우 완제품에 대한 열처리를 별도로 하지 않아도 되기 때문에 볼트 완성품 제조업체에서는 제조비 절감을 이룰 수 있을 것으로 기대를 하고 연구를 수행하게 되었다. Table 2와 Table 3은 본 연구에서 개발 검토한 선조질강 사양인 ESW95와 기존에 양산하고 있던 SCM435에 대한 화학적 특성과 기계적 특성을 보여주고 있다. ESW95 사양이 SCM435 사양에 비해서 인장강도와 경도 값에서 월등하게 큰 값을 가짐을 알

Table 2 Comparison of chemical properties for ESW95 vs. SCM435

	C	Si	Mn	P	S	Cu	B	Cr
ESW95	0.18 ~0.23	Max. 0.35	0.7 ~1	Max. 0.03	Max. 0.03	-	0.0005 ~0.005	0.6 ~0.12
SCM435	0.33 ~0.38	0.15 ~0.35	0.6 ~0.9	0.03	0.03	0.3	0	0.9 ~1.2

Table 3 Comparison of mechanical properties for ESW95 vs. SCM435

	Tensile strength	Elongation	Reduction ratio	Hardness (HRc)
ESW95	92~98 Kgf/mm ²	4.5 % ↑	65 % ↑	27~31
SCM435	58 Kgf/mm ²	21 %	70 %	N/A

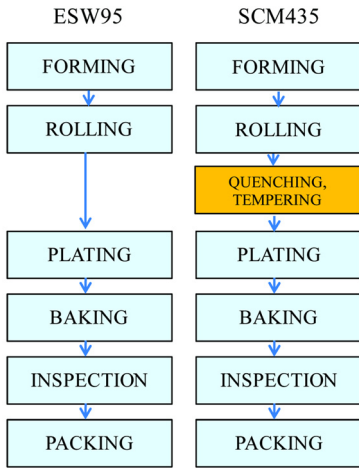


Fig. 2 Comparison of manufacturing process for SCM435 vs. ESW

수 있다. Fig. 2는 SCM435와 선조질강 소재를 이용한 헤드 볼트 제조 공정을 비교한 것으로써 열처리 공정이 빠짐으로 공정 시간 단축 및 물류비 절감이 가능할 것으로 판단하였다.

3. 본 론

기존에 사용되고 있는 SCM435 헤드 볼트의 특성과 기능성을 기준으로 동등 이상 수준의 성능을 만족하는 선조질강 헤드 볼트를 개발하기 위하여 볼트 단품에 대한 검증과 압축기 조립 상태의 검증을 단계적으로 진행하여 최적 사양을 선정하고자 연구를 수행하였다.

3.1 선조질강 헤드볼트 개발

압축기용 헤드 볼트의 소재로서 선조질강을 선정 한 후에 가장 먼저 검토를 진행한 것은 단조 성형성 및 금형의 수명 확보에 관한 것이었다. 기존 SCM435의 경우와 비교 했을 때 선조질강의 경우 소재 상태의 인장 강도 값이 월등하게 높은 상태에서 성형이 이루어지므로 단조 성형품에 대한 파손과 같은 내구성 확인을 위하여 단류선을 우선적으로 검토하였다. 통상적으로 접시머리 육각 볼트보다는 육각 머리 볼트가 단류선이 목부 위쪽에 형성되어 내구성에서 안정적이며, 단조 성형성에서도 유리한 것으로 확인되고 있다. 그러나 Fig. 3에서 보는 것처럼

본 연구에서 사용되는 압축기용 헤드 볼트의 경우 볼트 좌면부를 통하여 냉매 리크 방지 기능을 유지하여야 하며, 전체적인 패키지를 동시에 고려했을 때 육각 머리 볼트보다는 현재 사양인 육각 접시머리 볼트 사양이 최적이라고 판단하여 본 연구에서는 볼트 머리부 형상 변경은 검토에서 제외를 하기로 하였다. 결과적으로 금형 제작과 단조 성형 공정 등을 선조질강 특성에 맞도록 조정하는 작업을 통하여 SCM435에 준하는 수준의 금형 수명을 확보하고자 하였다.

Fig. 4는 SCM435와 ESW95 사양에 대한 접시머리 육각 볼트의 단류선을 보여주고 있다. 두 사양 모두 단류선 형태는 유사한 경향을 보이고 있으며 볼트 머리부와 몸통부 경계 바로 위쪽에 집중되어 있음을 볼 수 있다.

볼트를 개발하면서 성능과 품질을 확보하기 위하여 결정하여야 하는 가장 중요한 인자중 하나는 인장 강도의 결정이다. 기존 헤드볼트 품질 이력에 대한 분석 시 리크와 파손 등 품질 문제의 주된 원인은 인장 강도와 연관이 있는 것으로 추정되고 있다.

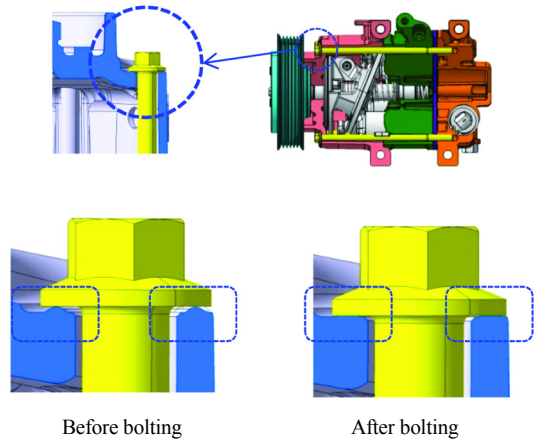


Fig. 3 Detail view of seating area for front head and head bolt

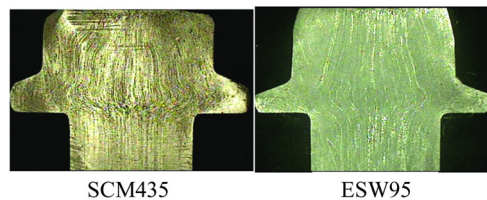


Fig. 4 Comparison of metal flow for SCM435 vs. ESW95

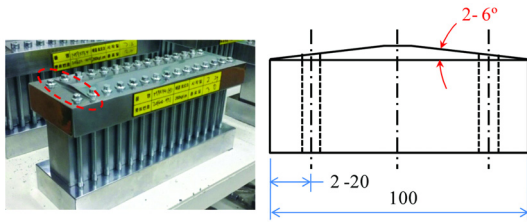


Fig. 5 Photo & drawing of delayed broken test jig

따라서 본 연구에서는 기존의 SCM435 헤드 볼트의 인장 강도를 기준으로 하여 시료를 소재 기준으로 인장 강도 값을 95, 100, 105, 110, 115 kgf/mm²의 5 종류로 제작을 하였으며 단조 성형 공정과 표면처리 공정을 거친 완성품에 대하여 우선적으로 지연 파단 평가를 수행하였다.

지연 파단 평가는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 헤드 볼트 전용 평가를 위하여 제작된 지그를 통하여 진행되며, 볼트 머리 좌면부가 안착되는 곳을 6° 기울어지게 제작하여 볼트의 응력 집중이 가장 큰 부분인 볼트 머리부의 내구성을 확인하는 평가이다. 본 평가는 볼트의 강도나 도금에 따른 수소 취성에 의한 파손 등의 평가에 매우 효과적인 것으로 확인된 평가 방법이다. 평가는 SCM435 헤드 볼트의 평가 방법을 그대로 반영하였으며 SCM435 사양과 인장 강도 값이 유사한 ESW105 사양을 기준으로 체결 토크 값을 선정하였다. 지그에 대한 헤드 볼트 체결 토크 값 선정은 볼트를 체결 방향으로 조여서 파손되는 토크 값을 찾아내어 그 값의 80 % 수준으로 결정한다.

평가는 하나의 지그에 26개씩 동일한 인장강도의 볼트를 조립한 다음 96시간 동안 지켜보면서 파손 또는 크랙 여부를 확인하게 된다. 평가 결과는 Table 4에서 보는 바와 같이 인장 강도 값이 비교적 큰 ESW105 사양의 경우 1개에서 목부 파손이 발생되었으며, ESW110 사양은 9개, ESW115 사양은 13개에서 목부 파손이 발생됨을 확인하였다. Fig. 6은 지연 파단 평가에서 파손된 선조질강 헤드 볼트의 사진으로서 NG 발생된 모든 제품이 유사한 형태를 보이고 있었다.

지연 파단 평가 결과를 바탕으로 인장 강도 값을 안전 계수를 고려하여 ESW95로 잠정 결정하였으며, 헤드 볼트 목부의 응력 집중 현상을 확인하기 위

Table 4 Results of delayed broken test for ESW

Test item	Bolting torque (N.m)	Sample amount (ea)	Duration time (hrs)	Test result
ESW95	260	26	96	Pass
ESW100	260	26	96	Pass
ESW105	260	26	96	1 ea NG
ESW110	260	26	96	9 ea NG
ESW115	260	26	96	13 ea NG

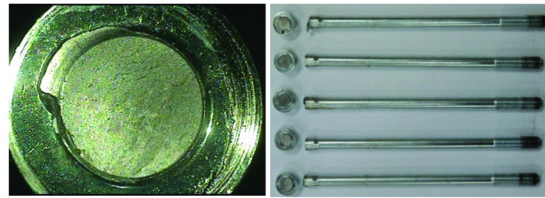


Fig. 6 Broken view of ESW head bolt by delayed broken test

하여 SCM435와 유사한 인장강도를 가지는 ESW105 사양과 잠정 결정 사양인 ESW95 사양에 대한 해석을 수행하였다. 해석은 유한요소법을 이용하여 지연 파단 평가에서의 체결 토크인 260 N.m의 체결력을 기준으로 동일한 경계조건으로 비교를 수행하였다. 결과적으로 Fig. 7에서 보는 바와 같이 ESW95 사양이 ESW105 사양 대비 헤드 볼트 목부 응력 집중이 상당 부분 개선됨을 확인할 수 있었다.

선조질강 헤드 볼트의 최종 사양 확정을 위하여 SCM435 사양과 ESW95 사양의 상,하한치 관리 기준 값 제품에 대한 축력 시험을 진행하였다. 볼트의 사양이 변경됨에 따라서 축력 값이 변동될 경우 압축기 내부에 걸리는 부하가 변하게 되며, 압축기 내부 부하가 변하게 되면 헤드 볼트의 체결 토크를 재 조정하여야만 한다. Fig. 8의 결과와 같이 ESW91, ESW97 사양의 축력 값과 SCM435 사양의 축력 값 차이가 거의 없는 것으로 보아 압축기 상태 조임 토크의 변화는 고려하지 않아도 될 것으로 판단하였다.

3.2 압축기 상태 검증

헤드 볼트 단품에 대한 조사와 평가를 통하여 결정된 ESW95 사양에 대하여 압축기 조립 상태에서 의 성능과 내구 평가를 통하여 양산 적용 타당성을 검증하고자 하였다.

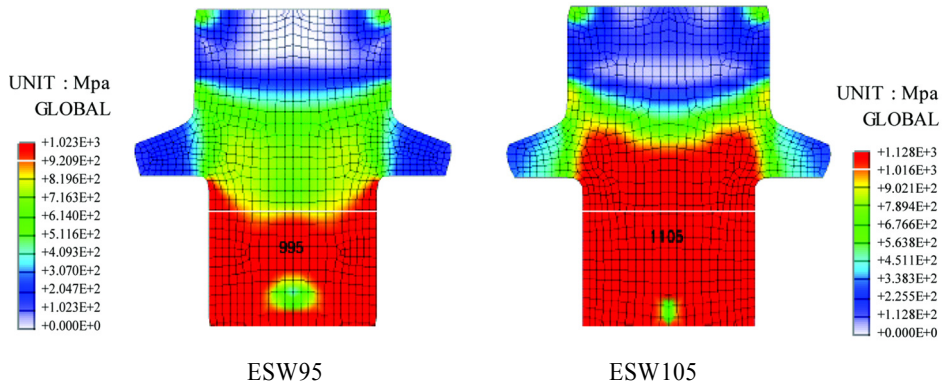


Fig. 7 Comparison of stress concentration for ESW95 vs. ESW105

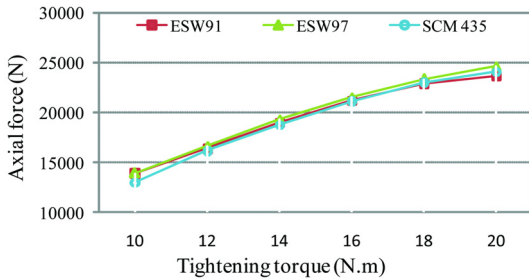


Fig. 8 Comparison of axial force for ESW vs. SCM435

우선 단품 축력 평가를 통하여 ESW95 사양 헤드 볼트가 기존 SCM435 헤드 볼트의 조립 토크와 동일한 조립 토크를 사용할 수 있을 것으로 판단하였기 때문에 실제 압축기 조립 상태에서의 축력을 확인하고자 SCM435 사양과 ESW95 사양에 대한 면압 평가를 진행하였다. 면압 평가는 압축기 하우징과 가스켓 사이에 면압지를 넣어서 압력에 취약한 부분을 찾아내는 평가 방법으로서, 이때 선조질강의 경우 ESW95 사양의 인장강도 하한치 근사 값인 ESW91에 대하여 평가를 하였는데, 이는 통상적으로 동일한 체결 토크로 체결 시에는 헤드 볼트의 인장강도 값이 낮을수록 압축기 전체적으로 눌러주는 힘, 즉 면압이 낮아지게 된다. 평가 결과를 볼 때 Fig. 9에서 보는 바와 같이 시료수를 각각 2대씩 진행한 면압 평가에서 전체적인 압축기 리어 헤드 축 눌러는 힘은 SCM435와 ESW91 간에 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

압축기 내구 시험 중에서 헤드 볼트의 기능에 가장 가혹하다고 판단이 되는 진동 내구 시험(vibration)과

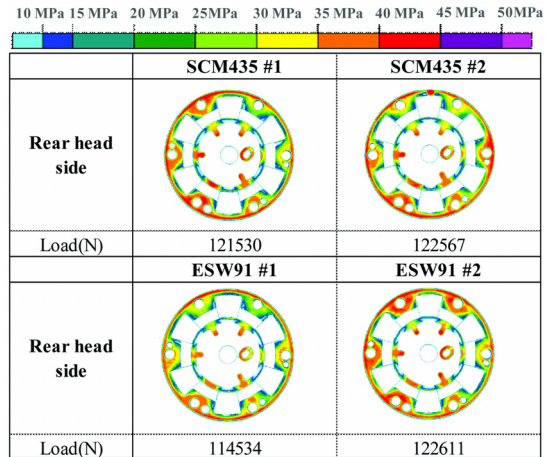


Fig. 9 Comparison of sealing performance for SCM435 vs. ESW91

고압 내구 시험(high pressure) 및 고압 저냉매 내구 시험(high pressure low charge)을 수행하였으며, 진동 내구 시험이 완료된 제품에 대해서는 내구 후기 성능 평가를 통하여 내구 전·후의 성능 변화량까지 확인하고자 하였다. 압축기 내구 평가조건은 완성차 업체별로 차이가 있으며, 본 연구에서는 국내 완성차 업체의 규제 조건으로 평가를 수행하였다. 압축기 단품 성능 평가(performance)의 경우 전용 평가 설비를 이용하여 평가를 수행하였다.⁸⁾ Table 5는 ESW95 사양 검증을 위한 압축기 내구 시험과 성능 시험 평가 조건을 보여주고 있다. 압축기 내구 시험 조건은 실제 정상적인 차량에서 압축기에 가해질 수 있는 가장 열악한 조건을 기준으로 가혹도를 추가하여 설정된 조건으로써 진동 내구 시험의 진동

Table 5 Test condition of compressor performance & durability

	Comp. speed (rpm)	Discharge pressure (MPa)	Suction pressure (MPa)	Suction temp. (°C)	Sub cool temp. (°C)
Performance	800	1.90	0.40	25.8	5
	Direction	Frequency (Hz)	Cycle time (min)	Acceleration (m/s ²)	Duration (hrs)
Vibration	Up-down, front-rear, left-right	50~350	2	294	14 each direction
	Comp. speed (rpm)	Discharge pressure (MPa)	Suction pressure (MPa)	Ambient temp. (°C)	Duration (hrs)
High pressure	700	3.14	0.34	110	1000
High pressure low charge (Ref. 40%)	2000	1.96	0.15	38	400

Table 6 Differential of performance after vibration durability test for ESW95

		Before durability	After durability	Differetial (%)
800 rpm	Capa.(kcal/h)	3633	3607	0.7 %
	HP(HP)	2.00	1.94	3.1 %
	COP	2.84	2.91	-2.3 %
	Td(°C)	86	88	-1.7 %

값이나 고압 내구 시험의 압력 값의 경우 실제 차량에서는 구현되기 어려운 가속도가 큰 시험이다. 내구 시험의 경우 진동 내구 시험은 파손에 대한 우려가 크다고 판단되는 ESW97 사양으로 진행하였으며, 고압 내구와 고압 저냉매 내구 시험은 장시간 높은 압력에 의한 풀림이 우려가 되는 ESW91 사양으로 평가를 진행하였다. 결과적으로 내구 시험은 모두 만족하였으며, 추가적으로 진동 내구 시험 완료품에 대하여 압축기 단품 성능을 확인한 결과 Table 6에서 보는 바와 같이 내구 전·후 성능(capacity) 변화량이 0.7 %로 압축기 성능 시험에서 산포 수준으로 간주되는 3 %를 넘지 않음을 알 수 있었다.

위와 같은 연구를 통하여 개발된 선조질강 헤드볼트에 대하여 국내 완성차 업체에 성공적으로 양산 적용을 하였으며, SCM435 사양에 대하여 압축기 조립 공정에서 간헐적, 로트성으로 발생하던 헤드볼트 머리부 리크를 연간 약 90만대 이상의 압축기를 생산하고 있는 동일한 공정에서 동일한 기간 동안 비교한 결과 Table 7에서와 같이 SCM435 사양에서 1년동안 452건 발생하던 헤드 볼트 머리부 리크

Table 7 Comparison of head bolt leak for SCM435 vs. ESW95

	Total	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Remark
SCM435	452	0	17	171	208	53	3	14' Jan. ~Dec.
ESW95	1	1	0	0	0	0	0	15' Jan. ~Dec.



Fig. 10 Picture of heat treated process & head bolt scale for SCM435

가 ESW95 사양으로 변경된 후 1년 동안 단 1건 발생으로 현저하게 감소하였음을 확인할 수 있었다.

이는 기존 SCM435 헤드 볼트의 경우 볼트 성형 후에 열처리 공정을 거치게 되는데 Fig. 10의 좌측 사진에서 보여지는 것처럼 헤드볼트를 열처리 로에 넣기 위하여 볼트 머리부를 걸치도록 만들어진 랙을 이용하게 된다. 이때 열처리 전·후로 랙의 상태를 세심하게 관리하더라도 한번의 실수로 인하여 Fig. 10의 우측 사진과 같이 볼트 좌면부에 스케일이 발생하게 된다면 Fig. 3의 리크 방지 기능과 관련하여 압축기 조립공정에서 리크 불량이 발생하게 되는 것이다. 이로써 헤드 볼트의 단조 성형 후 열처리 공정을 배제시킬 수 있는 선조질강 소재의 적용으로

열처리 관련 비용의 절감은 물론 간헐적, 로트성으로 발생하는 헤드 볼트 머리부 리크를 획기적으로 줄이게 되어 품질 비용의 절감까지도 가져올 수 있게 되었다.

4. 결 론

차량용 에어컨에 사용되는 가변 사판식 압축기의 헤드 볼트를 원소재 상태에서 열처리가 된 선조질강을 사용하여 개발 하였으며, 소재의 선정 및 볼트 단품과 압축기 조립 상태의 검증을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하게 되었다.

- 1) 기존의 SCM435 헤드 볼트와 동일한 성능을 확보하는 선조질강 헤드 볼트를 개발하기 위하여 인장강도 값이 각기 다른 ESW 95, 100, 105, 110, 115 사양 제품으로 지연 파단 평가를 수행하여 단품 내구성이 확보된 SCM435 대비 인장 강도 값이 약 10% 정도 낮은 ESW95 사양의 선조질강 헤드 볼트를 개발하였으며, 압축기를 통한 다양한 평가를 통하여 성능과 품질을 확보하게 되었다.
- 2) 선조질강의 적용으로 헤드 볼트 단조 성형 후의 열처리 공정을 제거하게 되었으며, 이로 인하여 열처리 공정 및 물류비용 절감을 통한 제품 단가를 약 7.3% 정도 낮출 수 있게 되었다.
- 3) 단조 성형 후 열처리 공정 삭제를 통한 헤드 볼트 머리 좌면부의 제품 안정화가 확보됨으로 인하여 압축기 조립 공정에서 간헐적, 로트성으로 발생하던 리크를 개선하게 되었으며, 연간 90만대 이상 생산되는 동일한 공정을 기준으로 12개월 간의 헤드 볼트 좌면부 리크를 비교 시 SCM435 헤드볼트에서 452건 발생하던 볼트 좌면부 리크가 선조질강으로 변경 후 1건 발생으로 현저하게 감소함을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통하여 개발된 차량용 에어컨 압축기용 선조질강 헤드 볼트는 가변 사판식에 대해서는 이미 국내 완성차 업체에 양산 적용 중에 있으며, 고

정 사판식에 대해서 검증이 마무리되어 양산을 앞두고 있다. 또한 북미를 비롯한 일본과 유럽 등 글로벌 완성차 업체로의 확대 적용이 추진되고 있다.

References

- 1) K. E. Lee, D. W. Kang and G. U. Lim, "The Effect of Bolt Shape on the Fatigue Property," Conference of KSME, pp.1560-1563, 2013.
- 2) C. K. Song, S. D. Lee and Y. J. Cho, "An Experimental Study of Friction Coefficient Variation Due to Vibration for Bolted Joint," Transactions of the KSTLE, Vol.23, No.2, pp.61-65, 2007.
- 3) J. H. Jung, J. B. Kim, H. K. Lee, M. G. Jang and G. J. Na, "An Investigation into the Effect of Serration Shape on Bolt Release Torque," Conference of KSPE, pp.1215-1216, 2015.
- 4) J. H. Lee, T. H. Ha, Y. J. Kim, D. H. Kim and C. H. Lee, "Study on Stiffness of Bolt Joints According to Pre-load," Conference of KSPE, pp.559-560, 2009.
- 5) J. W. Park, S. H. Lee and J. M. Kim, "A Study on Development of Low Carbon Boron Steels for Automotive Bolts," Transactions of KSAE, Vol.17, No.6, pp.136-141, 2009.
- 6) J. T. Park, J. G. Eum, J. H. Kim, D. J. Youn and M. S. Joun, "Study on Mechanical Behavior of a Pre-Heat Treated Steel of ESW95," Conference of KSTP, pp.439-443, 2008.
- 7) Y. S. Kim, H. K. Kim, S. Y. Hwang and Y. M. Kim, "A Study on Developing of Energy Saver Wire Head Bolt for Swashplate Type Compressor of Car Air-conditioner," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.393-399, 2016.
- 8) Y. S. Kim, S. Y. Yoo and S. G. Na, "Study of Compressor-Performance Improvement in Automotive Air-Conditioning System," Transactions of the KSME, Vol. 39, No.9, pp.713-718, 2015.