

고분자 수지를 이용한 자동차 에어컨용 압축기의 씬에 관한 연구

정태형*, 하영욱⁺

(논문접수일 2002. 6. 12, 심사완료일 2002. 9. 10)

A Study on Compressor Seal for Automotive Air-conditioner using Polymer Resin

Tae-Hyong Chong*, Young-Wook Ha⁺

Abstract

The existing compressor steel seal used in automotive air-conditioner has the problem of oil leakage and deterioration in shielding performance, due to the abrasion and corrosion of the material. A new type of polymer resin seal studied in this research has the characteristics of high anti-abrasiveness and anti-corrosiveness, which can overcome the defects of the steel seal. In addition, the seal needs lower manufacturing cost and is appropriate to mass production, because it is made by the injection molding method requiring no mechanical processing. The profile generation program for seal mold has been developed using the gradient method, and the molding characteristics of the seal have analyzed through the flow analysis and the warpage analysis. The program has been verified by comparing the analysis results with the measured data of the test product. The research might be said to provide the basic method to produce the polymer resin seals with various types and dimensions.

Key Words : Seal(씬), Polymer Resin(고분자 수지), Injection Molding(사출성형), Flow Analysis(유동해석), Warpage Analysis(수축해석)

1. 서론

환봉재를 기계 가공하여 사용했던 기존의 자동차 에어컨 압축기용 씬⁽¹⁾(compressor seal)은 왕복 운동시 실린더 내벽에 의한 마찰로 씬과 실린더 내벽에 마모가 생겨 오일의 누수로 인한 차폐성능이 저하된다. 따라서 내마모성이 높

고, 내열성이 우수한 고분자 수지인 PEEK⁽²⁾(Poly Ether Ether Ketone)를 사용하여 기존의 환봉재 기계 가공 방식을 사출 방식⁽³⁾으로 대체하면 차폐성능이나 오일의 누수 방지에 훨씬 효율적이고 제조 단가를 낮출 수 있다.

사출 방식의 씬을 개발하기 위해서는 제품의 프로파일을 예측하기 위한 프로그램 개발과 사출 성형시의 유동 해석,

* 주저자, 회원, 한양대학교 기계공학과 (thchong@hanyang.ac.kr)
주소: 133-791 서울시 성동구 행당동 17번지, Tel: 02-2290-0458
⁺ 한양대학교 대학원 기계설계학과

변형 해석, 제품 측정 방법등의 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구는 이에 적합한 고분자 수지 PEEK에 대한 물성 특성과 금형 설계를 위한 유동 해석 및 변형 해석의 결과를 금형 프로파일에 보정할 수 있는 프로그램의 개발을 통해 보다 정밀한 사출로 자동차 에어컨 압축기용 신개념 실을 개발 하고자 한다. 또한, 사출 성형한 실 제품을 3차원 비접촉 측정기에 의한 분석을 통해 적용 타당성을 검증하였다.

2. 자동차 에어컨용 압축기의 실 설계

2.1 개발 방법론

Fig. 1은 사출 성형법에 의한 자동차 에어컨 압축기용 실의 개발 방법론을 나타낸 것으로, 해석과 보정 프로그램의 개발을 위해서는 수지 물성 데이터와 사출 조건 및 사출 후의 3차원 비접촉 측정기에 의한 측정 데이터가 필요하다. 제품 형상과 사출 성형 후의 편차는 고분자 수지의 냉각에 의한 불균일한 수축의 영향으로 발생된다. 이 편차의 양을 줄이기 위한 방법으로 성형 유동 해석의 수축 결과와 편차와의 차이를 이용한 보정 프로그램을 개발하여 금형 형상 가공 데이터를 구해야 한다.

2.2 PEEK 특성 및 물성 비교

PEEK는 액상으로 용해 성형 가능한 결정성 수지로서 가

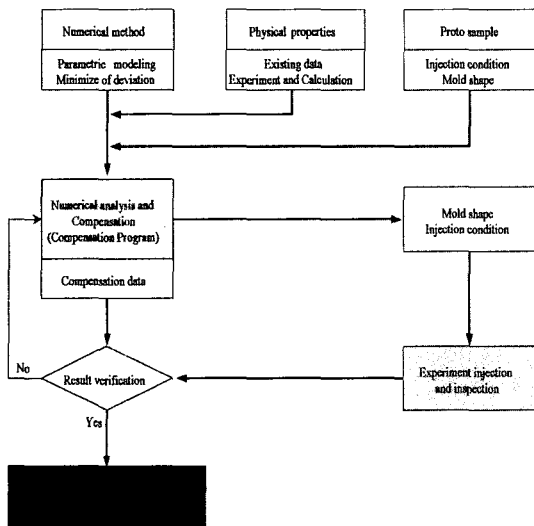


Fig. 1 Flowchart for development of a compressor seal

장 높은 내열성 및 내마모성을 가진다. 따라서 내열성 및 내마모성을 요구하는 압축기용 실에 적용이 가능하다. Fig. 2는 몇가지 고점도 재료의 마모 계수를 나타내며^(4,5), 열가소성수지인 PEEK 고분자 재료의 마모 계수가 타 재료에 비해 작음을 알 수 있다. 이는 압축기의 피스톤 왕복 운동시 내벽과 실 사이의 상호 마찰 작용으로 인한 마모에 높은 저항성을 나타냄을 알 수 있다. Fig. 2에서 vespel 수지는 PEEK에 비해 마모 계수는 작지만 생산 비용과 열지수 저하로 설계 재료 선택에 있어서 배제된다.

또한, 중합체 재료는 압축기 내에서 산화에 의한 화학 변형이 된다. 이런 영향은 Underwriters Laboratories(UL746B)가 규정한 상대 열 지수(Related Thermal Index)로 알려진 연속 사용온도를 측정함으로써 평가 할 수 있다. 100,000시간 경과 후에 재료 특성의 50%가 유지되는 온도 결정 시험이다. Fig. 3은 폴리이미드(polyimide)계의 상대 열지수⁽⁶⁾를 나타낸 것으로, PEEK나 PEI가 다른 고분자 수지에 비

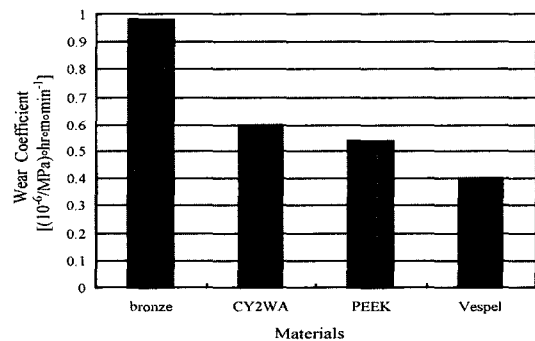


Fig. 2 Wear coefficients of high viscosity performance materials [20kg, 183m/min, 200 °C]

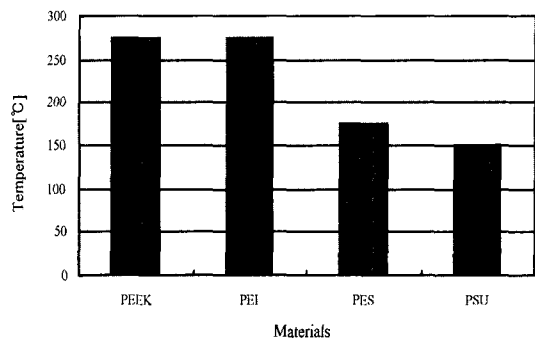


Fig. 3 Related Thermal Index for high-performance materials

해 우수하므로 내열성이 요구되는 제품에 적절함을 보여 준다.

2.3 사출 성형을 위한 금형 설계법

2.3.1 성형 해석

제품의 금형 설계를 수행하기 전에 성형 해석을 통해 게이트 위치 및 종류, 최대 전단 응력 분포, 수지의 배향 등을 검토함으로써 최적의 설계 방안을 결정한다. 게이트의 위치와 종류는 수지의 유동 방향과 체류 압력의 효과성, 성형 부품의 강도 및 기타 물성에 영향을 미치는 중요한 설계 변수가 된다. 자동차 에어컨 압축기용 쉘의 게이트는 치수 안정성이 요구되는 제품으로 이에 적합한 게이트의 설정이 필요하다. Fig. 4는 팬 게이트(pan gate)와 핀포인트 게이트(pin point gate)로 각 게이트의 특성 비교를 통해 최적의 게이트를 설정한다. Fig. 4(a)의 팬 게이트는 게이트가 성형품의 얇은 부분에 위치하는 경우로 성형품의 두꺼운 벽으로 된 부분의 개부위 형상에 공동이 형성된다. 얇은 벽으로 된 부분보다 재료가 빨리 결정화되므로 체류 압력 시간이 더 길어야 하는 두꺼운 벽으로 된 부분에는 더 이상 용융수지를 공급할 수 없다. 이에 반해 핀포인트 게이트는 한 쪽 끝 부분을 용융 수지로 채운 후 링 자체 길이를 채우므로 비대칭적 흐름 선단 프로파일(flow front profile)을 방지할 수 있다.

유동해석을 위한 소프트웨어로는 Win CAPA/Rev. 5.0을 사용하였으며⁽⁷⁾, 해석을 위한 3차원 모델은 Fig. 4의 (a), (b) 두 가지를 이용하였다. 요소크기 0.25mm의 삼각요소를 이용한 유한요소 메쉬(mesh)를 (a), (b) 각각 12,572개, 4,132개를 생성하였다. 경계조건은 압력과 온도의 함수로 구성하였으며, 해석과정을 위한 설정 항목으로는 고분자 수치, 금형, 냉각, 사출기, 성형조건 5가지이다. 이들 설정 항목에는 수지의 열전도, 비열량, PVT 및 금형 재질과 냉각수의 열전도, 사출기의 압력, 형체력, 사출 조건인 성형온

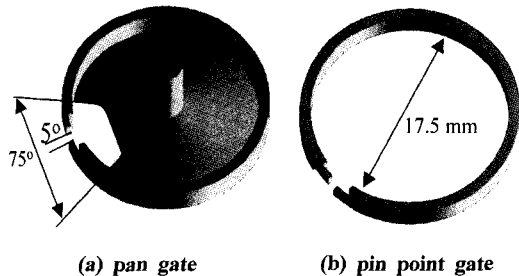
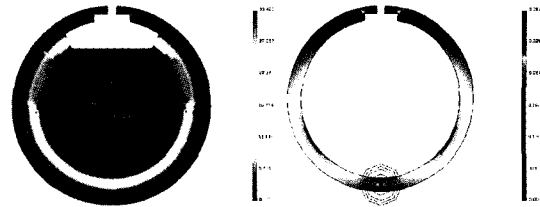


Fig.4 3-Dimensional modeling of pan gate and pin point gate for the injection molding

도, 냉각시간 등이 포함되어 있다.

Fig. 5(a), (b)는 각각 팬 게이트와 핀 포인트 게이트의 최대 전단 응력을 비교 한 것이다. 팬 게이트가 핀 포인트 게이트에 비해 전단 응력이 고르게 분포하는 것을 알 수 있다. 그러나 제품 성형 후의 후 가공으로 인한 변형이 있을 수 있으므로 후 가공을 배제한 핀 포인트 게이트에 비해 가공성이 떨어진다. 따라서, 팬 게이트로 사출하는 것 보다 핀 포인트로 사출하는 것이 치수 안정성에서 유리하다.

Fig. 6(a), (b)는 팬 게이트와 핀 포인트 게이트의 냉각시의 수축 변화량을 비교한 것이다. 성형 수축을 일으키는 물리적인 요인으로는 열에 의한 팽창 수축, 압축 탄성 회복, 수지 결정화도의 변화에 의한 용적비의 변화, 분자의 배향 등이 원인이 된다. 결정성 수지인 PEEK의 경우 성형 수축⁽⁸⁾은 앞에서 기술한 요인에 의해 크게 변동되기 때문에 금형 설계에 있어서 예상 수축 파악이 중요하다. Fig. 6에서 팬 게이트에 비해 핀 포인트 게이트가 수축 변화량이 적은 것을 알 수 있고 또한, 각 방향에 대한 수축 변화량이 일정한 것을 알 수 있다. 이것은 금형 설계 중 수축 변화량을 추정하기가 훨씬 수월함을 알 수 있다. Fig. 7(a), (b)는 팬 게이트와 핀 포인트 게이트의 시간당 섬유 배향 분포를 비교한 것이다. 팬 게이트의 경우 모서리 부분에서의 수치 불규칙 유동이 해쉬(harsh) 마크를 발생시키고 표면 불량이 발생하



(a) pan gate (b) pin point gate

Fig. 5 Maximum shear stress



(a) pan gate (b) pin point gate

Fig. 6 Overall shrinkage

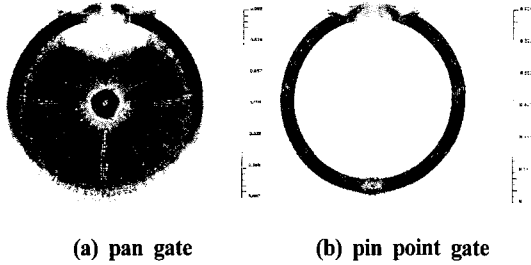


Fig. 7 Fibrous layer per time

기 쉽다. 이에 비해 핀 포인트 게이트는 섬유 배향이 고른 것을 알 수 있다. 따라서, 팬 게이트와 핀 포인트 게이트의 성형 해석을 통한 비교로부터 핀 포인트 게이트에 의한 성형이 사출 성형시의 성형성과 치수 안정성에서 우수함을 알 수 있다.

2.3.2 금형 설계시의 프로파일 보정을 위한 프로그램 개발

사출 해석과 금형 프로파일의 정밀한 보정을 위해 금형 프로파일 생성 방법론을 구축할 필요가 있다. 생성 방법론

Measured Data		Target Profile		Mold Profile		Sample Profile	
point informations	help						
(1) center location (mm)	array	0	0	0	0	0	0
(2) number of points	array	23	23	23	23	23	23
(3) point indices	array	1	0	1	0	1	0
(4) point coordinates (mm)	array						
		x	y	x	y	x	y
1		9.659	2.588	9.659	2.588	9.659	2.588
2		9.660	3.000	9.660	3.000	9.660	3.000
3		7.071	7.071	7.071	7.071	7.071	7.071
4		5.000	9.660	5.000	9.660	5.000	9.660
5		2.588	9.659	2.588	9.659	2.588	9.659
6		0.000	10.000	0.000	10.000	0.000	10.000
7		-2.588	9.659	-2.588	9.659	-2.588	9.659
8		-5.000	9.660	-5.000	9.660	-5.000	9.660
9		-7.071	7.071	-7.071	7.071	-7.071	7.071
10		-9.660	3.000	-9.660	3.000	-9.660	3.000
11		-9.659	2.588	-9.659	2.588	-9.659	2.588

Fig. 8 Measurement data of input and stand function

Interpolated		Target Profile		Mold Profile		Sample Profile		Compensated	
point informations	help								
(1) angle division (deg)	array	0	0	0	0	0	0	0	0
(2) number of points	array	20	20	20	20	20	20	20	20
(3) arc length	array	30.104	30.100	30.125	30.100	30.104	30.100		
(4) asymptotic error	array	14	0.050	14	0.050	14	0.050		
(5) coordinates (mm)	array								
		x	y	x	y	x	y	x	y
1		5.002	14.971	5.002	14.971	5.002	14.971	5.002	14.971
2		6.000	14.825	6.000	14.825	6.000	14.825	6.000	14.825
3		6.802	14.516	6.800	14.516	6.800	14.516	6.800	14.516
4		10.800	14.876	10.800	14.876	10.800	14.876	10.800	14.876
5		12.000	14.830	12.000	14.830	12.000	14.830	12.000	14.830
6		14.950	14.776	14.000	14.776	14.900	14.776	14.000	14.776
7		16.000	14.712	14.000	14.712	16.000	14.712	16.000	14.712
8		18.000	14.638	18.000	14.638	18.000	14.638	18.000	14.638
9		20.000	14.554	20.000	14.554	20.000	14.554	20.000	14.554
10		22.000	14.461	22.000	14.461	22.000	14.461	22.000	14.461

Fig. 9 Division of angle and mold compensation function

은 샘플 형상을 각도 분할 위치점에서 사출 성형한 샘플을 측정 후 목표 제품 형상과 비교하여 그 차이를 반경 (r) 증분치에 반영하여 보정하고, 이 과정을 반복하여 금형 프로파일을 생성함으로써 각도 (θ)에 따른 반경 증분값의 변화를 최소화하는 방법이다. 즉, 사출 성형 후의 샘플 측정값을 이용한 전체 실 형상은 스플라인(spline) 곡선으로 표현하였으며, 임의 분할점에서 이 스플라인 곡선과 설계 목표 곡선과의 반경 차이를 비교하여 금형의 반경을 보정하는 것으로 금형 재 설계가 이루어진다. 반경의 증분값은 피팅(fitting)된 곡선에서 유한차분법으로 구하며, 식 (1)은 금형 프로파일 반경과 샘플 측정 반경과 설계 목표 반경과의 관계를 나타낸다.

$$\frac{dr_{design}}{d\theta} = \frac{dr_{mold}}{d\theta} - \left(\frac{dr_{sample}}{d\theta} - \frac{dr_{target}}{d\theta} \right) \quad (1)$$

Fig. 8은 샘플의 각 분할 외각 지점의 좌표값을 입력하는 입력 프로그램으로 샘플 측정 데이터와 제품도에서 표시된 목표값을 이용하여 금형 프로파일을 비교 검증하는 프로그램이다. Fig. 9는 입력장에서 분석한 각도에 대한 증분치를 이용하여 이들 결과에서 계산된 값들을 금형 프로파일 생성을 위해 보정된 계산 결과를 나타내는 데이터를 보여준다.

3. 자동차 에어컨 압축기용 실의 성형 조건 및 측정

Table 1은 성형 해석 결과와 기존의 데이터를 참조한 최적의 사출 조건으로서 실험을 통한 유효성을 입증할 수 있다. 자동차 에어컨 압축기용 실은 압축기 로드(rod)에 조립되므로 진원을 가져야 한다. 따라서, 진원을 확인하기 위해 Fig. 10과 같이 아세탈 수지를 이용하여 측정용 지그를 만들었다. 그러나, 측정용 지그는 진원의 확인은 가능하나, 수

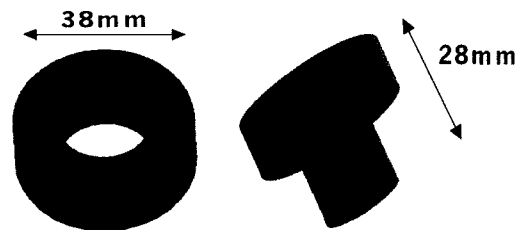


Fig. 10 Inspection jig of plastic compressor seal

Table 1 Injection molding condition for plastic air-conditioner compressor seal

Division	Specification	Condition	Remarks
Drying temperature		140 [°C]	
Drying time		4 [hr]	
Injection temperature	Nozzle	385 [°C]	
	Heater1	370 [°C]	
	Heater2	380 [°C]	
	Heater3	365 [°C]	
	Heater4	980 [MPa]	
Injection condition	Injection pressure	1100 [MPa]	
	1st packing pressure	750 [MPa]	
	2nd packing pressure	20% [%]	
	Back stroke	2 [mm]	
	Mold temperature	180 [°C]	
Injection time	Filling time	0.19 [sec]	
	1st packing time	7 [sec]	
	2nd packing time	0.5 [sec]	
	Cooling time	18 [sec]	
	Total cycle time	25.69 [sec]	

정을 위한 보정 데이터 생성이 불가능하다. 그러므로 5 μ m 이내까지 측정할 수 있는 고정밀도 장비인 비접촉 3차원 측정기를 이용하여 360°를 0.5°씩 분할하여 각 각도 포인트에 대한 측정 데이터를 생성한다.

4. 자동차 에어컨 압축기용 실의 측정 결과

4.1 1차 사출 성형 제품 결과

Fig. 11은 기본 제품도와 1차 시험 성형 제품과의 비교 데이터로서 전반적으로 1차 시험 성형제품이 제품도와 잘 일치함을 알 수 있다. Fig. 12는 Fig. 11의 데이터를 그래프로 나타낸 것으로 5개의 샘플을 측정하여 20°씩 각을 나눠 각 포인트에 대한 제품도와 1차 시험 성형 제품과의 편차를 나타낸 것이다. 그래프에서 보면 각 지점에 대한 데이터 값이 제품 허용 공차 $\pm 0.025\text{mm}$ 를 만족한다. Fig. 13은 1차 시험 성형 제품을 지그에 장착했을 때 지그와 제품 사이의 간격을 그래프로 나타낸 것이다.

Fig. 13에서와 같이 5개의 샘플을 측정했을 때 각 샘플의 경향이 많이 다름을 알 수 있다. 또한, 각도 분할한 11개 위치점에서 지그와 간격차가 큼을 알 수 있다. 따라서 제품도에 대한 신뢰도가 떨어지며 이 데이터를 기본으로 금형 정밀 보정 프로그램으로 새로운 프로 파일을 생성한다.

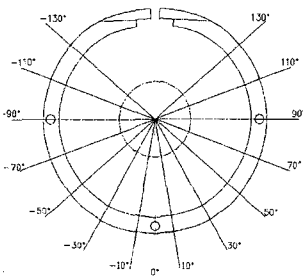


Fig. 11 Measuring point of seal between product and drawing

4.2 2차 사출 성형 제품 결과

Fig. 14는 2차 실험 성형 제품과 제품도를 비교 한 것이다. 즉, 1차 실험 성형 제품 프로파일을 정밀 보정한 것이다. Fig. 13에 비해 샘플들의 간격 편차 경향이 고르게 분포되어 있다.

Fig. 15는 지그와 2차 시험 성형 제품과의 간격차를 나타낸다. Fig. 13에 비해 지그 조립시 비교적 정확하게 안착됨을 알 수 있고 또한, 전 방향에 대한 간격들이 1, 2 사분면

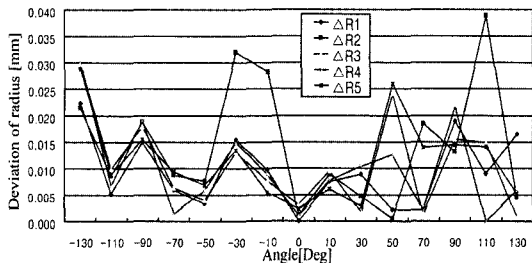


Fig. 12 Comparison of the first trial product with drawing

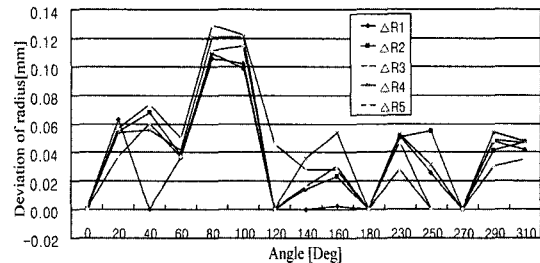


Fig. 13 Deviation between jig and the first trial product

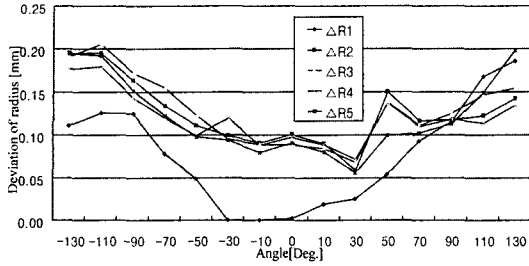


Fig. 14 Comparison of the second trial product with drawing

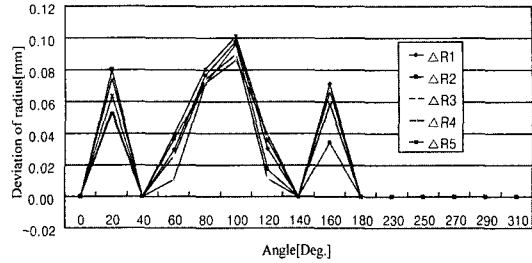


Fig. 15 Deviation between jig and the second trial product

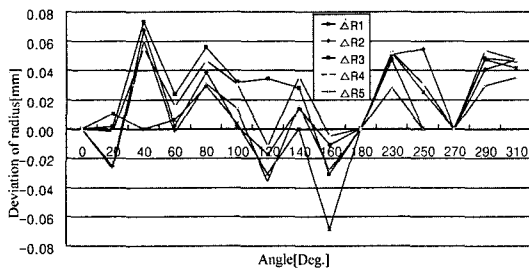


Fig. 16 Deviation between the first and second trial products

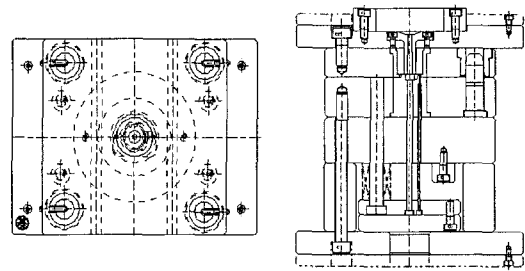


Fig. 17 Assembly of a mold for compressor seal

에 각도 분할한 위치 점만 나타남을 알 수 있다.

Fig. 16은 보정한 2차 시험 성형 제품과 1차 시험 성형 제품과의 간격 차이로 양의 값은 1차 시험 성형 제품의 편차이고 음수 값은 2차 시험 성형 제품의 편차이다. 따라서 Fig. 16에서와 같이 2차 시험 성형 제품이 1차 시험 성형

제품에 비해 거의 모든 각 분할 지점에 대해 간격이 매우 작음을 알 수 있다.

Table 2는 사출 성형 제품을 비접촉 측정기로 측정된 데이터와 설계 프로파일과의 편차를 나타낸다. 각 측정 위치 점에서 편차의 평균치가 설계 공차 범위 안에 있음을 알 수

Table 2 Deviation of the sample and drawing

Angle	Dwg.	Sample1	Sample2	Sample3	Sample4	Sample5	Δr1	Δr2	Δr3	Δr4	Δr5	mean
-130	9.1600	9.1376	9.1491	9.1719	9.1349	9.2027	0.0224	0.0109	0.0119	0.0251	0.0427	0.0226
-110	9.2300	9.2352	9.2143	9.2398	9.2367	9.2466	0.0052	0.0157	0.0098	0.0067	0.0166	0.0108
-90	9.2900	9.3049	9.2900	9.3020	9.2936	9.2966	0.0149	0.0000	0.0120	0.0036	0.0066	0.0074
-70	9.2300	9.2240	9.2513	9.2330	9.2361	9.2411	0.0060	0.0213	0.0030	0.0061	0.0111	0.0095
-50	9.1600	9.1734	9.1541	9.1640	9.1939	9.1668	0.0134	0.0059	0.0040	0.0339	0.0068	0.0128
-30	9.1000	9.1255	9.1320	9.1131	9.1119	9.1045	0.0255	0.0320	0.0131	0.0119	0.0045	0.0174
-10	9.0300	9.0164	9.0583	9.0484	9.0559	9.0329	0.0136	0.0283	0.0184	0.0259	0.0029	0.0178
0	9.0300	9.0300	9.0508	9.0406	9.0470	9.0410	0.0000	0.0208	0.0106	0.0170	0.0110	0.0119
10	9.0300	9.0375	9.0662	9.0195	9.0271	9.0424	0.0075	0.0362	0.0105	0.0029	0.0124	0.0139
30	9.1000	9.1110	9.1047	9.0982	9.0897	9.1029	0.0110	0.0047	0.0018	0.0103	0.0029	0.0061
50	9.1600	9.1623	9.1746	9.1842	9.1726	9.1861	0.0023	0.0146	0.0242	0.0126	0.0261	0.0160
70	9.2300	9.2277	9.2485	9.2250	9.2279	9.2439	0.0023	0.0185	0.0050	0.0021	0.0139	0.0084
90	9.2900	9.2907	9.3248	9.2964	9.3116	9.2834	0.0007	0.0348	0.0064	0.0216	0.0066	0.0140
110	9.2300	9.2300	9.1996	9.2448	9.2300	9.2441	0.0000	0.0304	0.0148	0.0000	0.0141	0.0119
130	9.1600	9.1436	9.1824	9.1600	9.1542	9.1548	0.0164	0.0224	0.0000	0.0058	0.0052	0.0100
						mean	0.0094	0.0198	0.0097	0.0124	0.0122	



Fig. 18 Mold plate and core for compressor seal

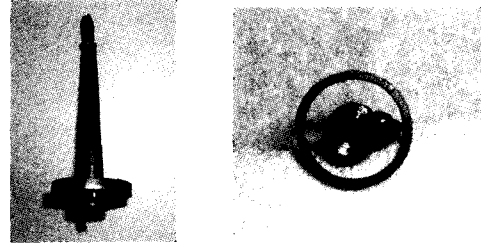


Fig. 19 Part of compressor seal by injection molding

있었다. Fig. 17은 금형 설계 조립도와 이동측 상코아의 설계 완성도를 나타낸다. Fig. 18은 설계된 금형도를 기준으로 실제 금형을 가공한 금형 형상을 나타내고 있으며, Fig. 19는 사출성형 후의 압축기용 오일 씰링의 사출 완성품을 나타낸다. 사출 성형품은 3단 금형으로 제작된 것으로 런너와 제품이 자동 분리되어 성형되어 진다.

5. 결론

자동차 에어컨 압축기용 씰의 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고분자 수지(PEEK)에 대한 성형 해석 결과 펜 게이트에 비해, 핀 포인트 게이트가 수축에 대한 안정성과, 섬유 배향이 우수함을 알 수 있고 재료의 소모가 적으며 후 가공을 배제한 고효율의 생산을 가져 올 수 있다.
- (2) 금형 보정 프로그램의 개발로 성형 제품의 정밀 보정 및 금형 프로파일의 생성 방법론을 구축할 수 있었다.
- (3) 성형 제품을 통한 고분자 수지 사출 조건에 대한 신뢰성 및 유효성을 입증 할 수 있었다.
- (4) 2차 시험 성형 결과가 1차 시험 성형에 비해 제품의 외관 및 지그 검사시 간격에 대한 치수 안정성 및 정밀성이 우수함을 알 수 있다.

참고 문헌

- (1) 大阪, 1992, “自動變速機用 NTN 고성능 수지 밀봉링”, NTN Tech. Rev., 61, pp. 50~56.
- (2) Russo, R. R., D’Aniello, C. C., Romano, G. G., and

Vittoria, V. V., 2000, “Influence of time and temperature on deformed films of poly ether-ether-ketone(PEEK)”, European Polymer Journal (USA), Vol. 36, No. 8, pp. 1571~1577.

- (3) 이태홍, 이성수, 2000, “AUTOCAD를 이용한 프라스틱 사출금형 자동설계의 개발에 관한 연구”, 춘계학술대회논문집, 한국공작기계학회, pp. 397~402.
- (4) Medellin-Rodriguez, F. J., 1990, “Crystallization and structure-mechanical property relations in (poly ether ether ketone) [PEEK]”, Polymer Engineering and Science USA, Society of Plastics Engineers, Vol. 30, No. 14, pp. 860~869.
- (5) Semadeni, M., Zerlik, H., Rossini, P., Meyer, J., and Wintermantel, E, 1998, “High Fibre Volume Fraction Injection Moulding of Carbon Fibre Reinforced Poly ether ether ketone (PEEK) in Order to Raise Mechanical Properties”, Polymers and Polymer Composites, 6(5), pp. 279~287.
- (6) Dunn, C. M. R., and Turner, S., 1974, “The characterisation of reinforced thermoplastics for industry and engineering uses”, Conference Proceedings of Composites, Standards, Testing and Design, National Physical Laboratories, pp. 113.
- (7) 한국시뮬레이션 기술, 2000, Computer Aided Plastics Application, (주)브이엠테크, 4.1.1-6.1.44.
- (8) Moore, D. R. and Smith, J. M., 1993, “Engineering design properties for injection moulding compounds based on poly ether ether ketone”, Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications, 21, pp. 19~31.