

멀티 캐비티 실린더 기어 개발

이정익^{1*}

¹인하공업전문대학 기계공학부 기계설계과

The Development of Multi-Cavity Cylindrical Gear

Jeong-Ick Lee^{1*}

¹Department of Mechanical Design, Inha Technical College

요약 파워 윈도우 모터 조립부위에서 실린더 기어는 자동차 도어에서 중요한 부분이다. 이 연구는 대량 수입과 6 캐비티 금형 설계를 대체할 자체 제작 기술력 확보를 위해 수행되었다. 이 연구는 5가지 구체적인 주제를 두고 작성되었다. 첫째, CAE를 이용해 시작품을 제작하고, 대량생산 제작을 위해 사전에 해석한다. 둘째, 대량생산 금형(2차원 및 3차원)을 설계한다. 셋째, 샘플 금형을 제작한다. 넷째, 3차원 설계제품을 시제작 후 측정한다. 다섯째, 데이터를 해석하고 금형을 수정한다. 이들 연구를 수행하면서 CAE를 사용한 제품샘플과 대량생산의 해석과 다수 캐비티의 샘플 금형의 제작의 연구가 성공적으로 수행되었다. 결과적으로, 핫런너를 사용하는 일점 게이트 및 6 캐비티가 파워 윈도우 모터 용 실린더 기어를 만드는데 가장 적합한 방법임을 알게 되었다.

Abstract The cylindrical gear in power window motor assembly is important to doors of automobile. This study is performed for the purpose of getting a manufacturing technique instead of large quantities import and six-cavity mold production. This multi-cavity cylindrical gear is produced under five procedures. The first, mold design of mass-production, the second, making a CAE model for mass-production, the third, manufacturing of sample mold, the fourth, trying-out and measuring of 3 dimensional design, the fifth, acquisition of data analysis and mold modification. Among them, analysis of mass-production using CAE, designing and manufacturing of multi-cavity are successfully performed.

In the results, it is concluded that the mold for one gate and eight-cavity based on hot-runner is suitable for making a cylindrical gear.

Key Words : Mold Design, Multi-Cavity, Cylindrical Gear, Injection Mold, CAE(Computer Aided Engineering)

1. 서론

자동차는 2만 여개가 넘는 부품들로 구성되어 있다. 또한, 새시와 함께 자동차 내부에는 조향장치, 파워장치, 도어 록 장치 등 많은 전기전자 및 센서들이 부가되어 수송 외 운전자가 주행 중 운전을 용이하게 수행할 수 있는 여러 가지 장치들이 별도로 차체내부 혹은 외부에 부착되어 있다. 그 가운데 자동차의 윈도우 쪽에 사용되는 원통형 기어(cylindrical gear)는 파워 윈도우 리프팅 모터를 자동적으로 개폐할 수 있도록 리프팅하는 것을 도와주는 역할을 한다. 기능으로는 모터 워엄 축(motor amateur (worm) shaft)의 치차면과 연결되어 동력을 전달하는 헬

리컬 치형 부분, 창문 개폐부, 링크에 연결되어 있는 부분으로 모터의 동력전달 부분, 댐퍼(드라이브를 고정시켜 주는 것)과 같은 부품기능을 가지고 있다. 원통형 기어의 중점적으로 관리해야하는 부위로는 치형 사양서에 관련된 모든 치수와 시제품 생산(try-out)시에 모든 치수 및 양산시에는 Cpk 관리 항목 및 외경치수가 이에 해당한다. 내경(원통형 기어를 지지하는 bearing shaft 조립부), 외경 흔들림(runout), 롤링 에러(rolling composite error) 등이다. 본 연구에서는 파워 윈도우 모터에 사용될 원통형 기어의 성형 재료의 특성, 핫런너 및 다수 캐비티(hot runner & multi-cavity) 적용의 필요성, 생산을 위한 국내외 관련 기술의 현황, 개발 시 파급 효과 및 활용 방안을

*교신저자 : 이정익(jilee@inhac.ac.kr)

접수일 10년 03월 17일

수정일 10년 04월 21일

게재확정일 10년 05월 13일

제시하고 구체적 연구로 들어가 연구의 핵심부분인 적절한 게이트 위치 선정을 제시하고 그들을 CAE (Computer Aided Engineering) 해석 평가한 내용을 기초로 다수 캐비티 생산을 위한 적절한 방안을 제시하는데 연구의 목적을 둔다.

2. 원통형 기어의 성형재료의 특성

원통형 기어에 사용되는 수지는 POM(Homo-Polymer : Dupont Delrin 100P & 500P)으로 POM은 고분자의 사슬이 한 종류의 분자로 연속적으로 연결된 구조로 되어 있다. POM은 결정성 수지로 성형 수축률이 타 수지에 비하여 큰 편으로 따라서 성형 수축률에 의한 변형이 많은 편이다. 수지 자체의 윤활성으로 인해 동력 전달하는 기어 제품에 많이 사용된다. 기계적 특성 및 내열성은 좋으나 성형성 및 성형치수의 정도 등은 떨어진다. 220 ℃이상의 온도에서는 포르말린가스가 발생하여 금형표면에 끈적끈적한 상태로 되어 경화층을 이루어 핫런너 적용에 문제의 요인으로 작용한다. POM은 고분자 사슬이 한 종류의 분자로 연속적으로 연결되어 있어 성형성이 불리하다. 유동성 또한 좋지 않아 사출압력이 높다. 가수 분해가 되면서 포름알데히드 가스가 많아 수지를 관리하는데 어려움이 있다. 220 ℃이상의 온도에서는 포르말린가스가 발생하여 금형 표면에 끈적끈적한 상태로 되어 경화층을 이루어 핫런너 적용에 많은 제약이 따른다. 대체적으로 장점에 비해서는 단점이 많으나 플라스틱 기어로서 사용되는 장점이 많아 대부분의 자동차용 플라스틱 기어에서는 많이 사용된다.

3. 원통형 기어에 핫런너 및 다수 캐비티 적용

3.1 분석결과

자동차 시장은 매년 더 향상된 품질, 더 낮은 단가의 제품을 요구하고 있는 것이 현실이다. 세계 시장의 경쟁에서 살아남기 위해서는 제품의 생산성을 높이면서 단가를 낮출 수 있는 금형을 제작하여야 한다. 자동차의 고급화로 인하여 자동차 내장형 모터의 수요는 계속적으로 증가하고 있으며 플라스틱 기어의 수요 또한 증대되고 있는 실정이다. 고급화의 의미는 소비자의 요구 품질이 더욱 진보된 것을 의미한다. 기어 품질의 핵심은 소음에 대하여 민감한 품질을 요구하는 것과 일치한다. 따라서 현재까지 주어진 냉각런너의 금형으로는 다수 캐비티를

양산하는 데는 한계가 있다. 즉, 6 캐비티 금형으로는 생산성 향상 즉 제품의 단가를 낮추기에는 한계점에 도달하였다. 품질이 안정된 다수 캐비티 금형을 전제로 핫런너를 적용함으로써 성형시간의 단축 및 재료비 절감 등의 효과가 함께 수반되어야 한다. 실린더 기어의 개발에 있어 다수 캐비티 및 핫런너 적용이 품질의 저하의 요인으로 작용되어서는 안되며 국제 경쟁력 확보를 위해서 핫런너 기술개발이 필요하다고 할 수 있다.

3.2 핫런너 및 다수 캐비티 적용 관련 국내외 관련 기술 현황

3.2.1 국내 관련 기술 현황

POM(Co-Polymer)의 경우 성형성이 좋은 관계로 인해 일부 업체에서는 핫런너를 적용하고 있으나, POM(Homo-Polymer)의 경우에는 현재 다수 캐비티 및 핫런너를 적용하여 성공한 사례가 없다. 현재 국내에서는 냉각런너, 4 캐비티가 적용되고 있다. 품질 문제로 인하여 재료비(runner scrape)의 부담이 있어도 핫런너 적용의 문제 및 유동 균형의 문제로 인하여 적용하지 못하고 있는 실정이다. 현재 국내기업으로는 에이텍 솔루션, 태평양 이엔지에서 유사한 제품을 시도하였으나 핫런너, 다수 캐비티에서는 실패하였으며 현재는 냉각런너, 4 캐비티 양산만이 가능할 뿐이다. 대부분 시스템 업체에서는 일본(DENSO), 독일(Gaudlitz), 스위스(MIKRON)에서 완제품을 수입하여 조립하는 실정이다.

3.2.2 국외 관련 기술 현황

일본의 경우 핫런너 및 다수 캐비티 기술을 적용하는 업체가 있으나 일본의 경우 품질 우선을 지향하여 다수 캐비티를 적극적으로 진행하지 않는 실정이며, 독일(Gaudlitz), 스위스(MICRON)의 경우 6 캐비티 핫런너 개발을 진행하였으나 품질의 불안정한 문제로 인하여 현재 MICRON사는 금형을 폐기한 상태이다. 캐비티 수량을 줄이고 반-핫런너(1차 스프루 런너만 핫런너로 적용하고 2차 스프루는 냉각런너로 적용)로 적용하여 금형 개발하여 양산 적용 중에 있다.

3.3 핫런너 및 다수 캐비티 적용을 통한 파급 효과 및 활용방안

3.3.1 파급효과

생산성 향상의 효과 및 품질 안정화의 효과가 있어 국내 자동차 시장의 고급화 및 경쟁력 확보가 가능할 것이며 세계 시장에서의 한국 자동차의 소비자 만족도가 한층 더 상승할 수 있는 기회가 될 것으로 판단된다. 아울러

리, 자동차의 모터 수요의 증가에 발맞추어 플라스틱 기어의 수요 증가가 예상되고 플라스틱 기어의 기술력을 우위에서 점할 수 있을 것으로 예상된다.

3.3.2 활용방안

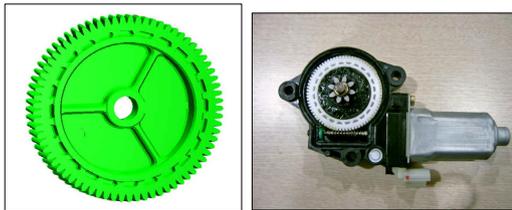
POM(Homo-Polymer)이 적용되는 플라스틱 기어에 모두 적용가능하다. 자동차 각종 모터류 등에 적용가능하다.

4. 원통형 기어의 사출성형과 핫런너의 적용 타당성

4.1 실린더 형 기어의 사출성형

4.1.1 실린더 형 기어

3차원 형상 및 파워윈도우 모터 결합체에 체결형상은 그림 1에 나타나 있다.



[그림 1] 원통형 기어의 형상 및 체결형상

4.1.2 총괄적 해석

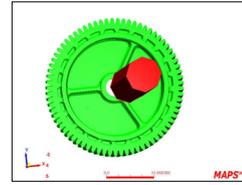
해석의 목적은 비틀림(warp)을 최소화 하기 위한 게이트의 위치 및 숫자를 결정하는 것이고 해석은 1 종 1 게이트 시나리오, 3 종 3 게이트시나리오 두 가지 사례를 살펴보았다. 재료의 물성치는 Dupont Delrin 100P NC010 POM을 사용하였고, 비중은 1.42, 탄성계수(tensile modulus) 2900 MPa, 파단강도는 70 MPa을 주었고 해석 s/w는 CAPA의 MAPS 3D를 사용하였다. 옵션(option) 게이트 개수 및 위치는 그림 2와 같다. 본 해석에서 중요한 사실은 메쉬의 특성상 1 캐비티에 대해 고려하였으며 모두 핫런너를 적용하였다.

항목	Option 1	Option 2
Gate 갯수	1곳	3곳
게이트 위치		

[그림 2] 실린더 형 기어의 옵션 별 게이트 수 및 위치

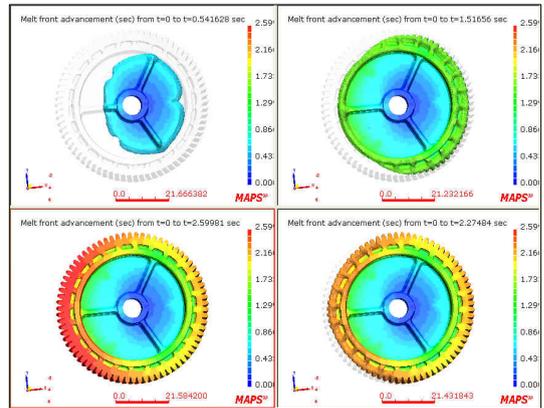
4.1.3 옵션 1의 게이트 위치, 충전해석(유동패턴), 충전해석(압력분포), 휨 해석(휨/수축량)

옵션 1의 게이트 위치, 유동패턴, 압력분포 및 휨 해석을 각각 그림 3, 그림 4, 그림 5, 그림 6에 나타내었다.

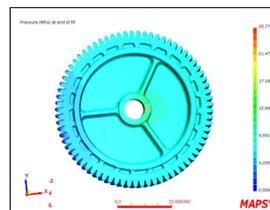


[그림 3] 옵션 1의 게이트 위치

금형내부에 수지가 흘러가는 패턴을 사출시간 2.6 sec 동안 결과를 시간대 별로 나타낸 것이다. 붉은색으로 표시한 부분은 유동선단에 진행방향을 표시한 것이다. 게이트 위치로 보아 붉은색이 가장 늦게 충전되는 곳이다. 게이트가 1곳이므로 제품의 우측기어 부분이 가장 먼저 충전되고 좌측과 하측이 늦게 충전되는 현상을 보인다.



[그림 4] 유동 해석(옵션 1)

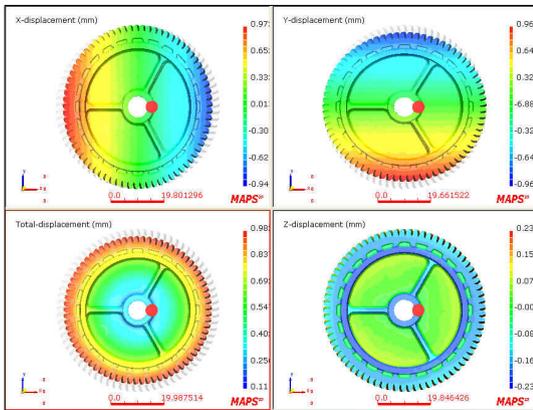


[그림 5] 옵션 1의 유동해석(압력 분포)

캐비티 내로의 충전이 시작되는 플라스틱 기어의 주입구에서 최대압력이 발생되며 캐비티 내로 수지가 채워지는 끝단에서 최저압이 발생한다. 그 이동모습은 그림 4에 잘 나타나있다. 이 경우 최대압은 25.7 MPa을 보인다. 용

용수지의 점도는 Homo-Polymer와 같은 점도가 높은 수지(POM)는 금형내부를 채우는데 더 큰 압력이 요구된다. 만일 이 해석의 경우 1 캐비티로 보고 25.7 MPa의 최대 압이 해석되었으며 다수 캐비티로 바뀔 경우는 금형내 캐비티에 더 큰 압력이 작용할 것으로 보인다.

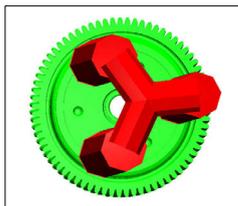
그림 6은 힘 해석 수행 후 X축(가로방향), Y축(세로방향), Z축(앞뒤방향의 힘) 그리고 전체적인 힘량을 나타내는 그림으로 전체적 수축량은 1.9 mm정도로 미소한 편이다.



[그림 6] 비틀림 해석(옵선 1)

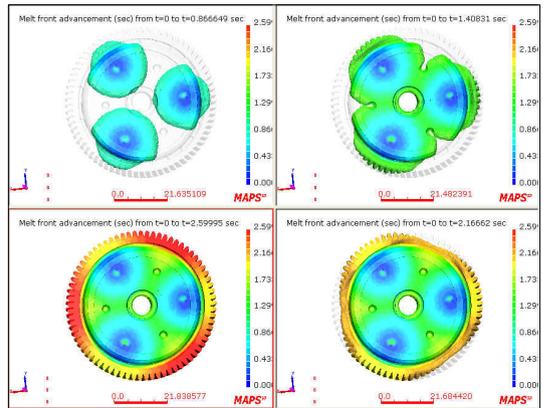
4.1.4 옵선 2의 게이트 위치, 충전해석(유동패턴), 충전해석(압력분포), 힘 해석(힘/수축량)

옵선 2의 게이트 위치, 유동패턴, 압력분포 및 힘 해석을 각각 그림 7, 그림. 8, 그림. 9, 그림 10에 나타내었다.

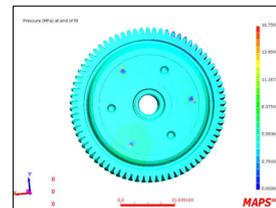


[그림 7] 옵선 2의 게이트 위치

금형내부에 수지가 흘러가는 패턴을 옵선 1과 같은 사출시간 2.6 sec 동안 결과를 시간대 별로 나타낸 것이다. 붉은색으로 표시한 부분은 유동선단에 진행방향을 표시한 것이다. 게이트 위치로 보아 붉은색이 가장 늦게 충전되는 곳이다. 게이트가 3곳이므로 제품전체에 3곳이 동시에 충전됨을 알 수 있다.

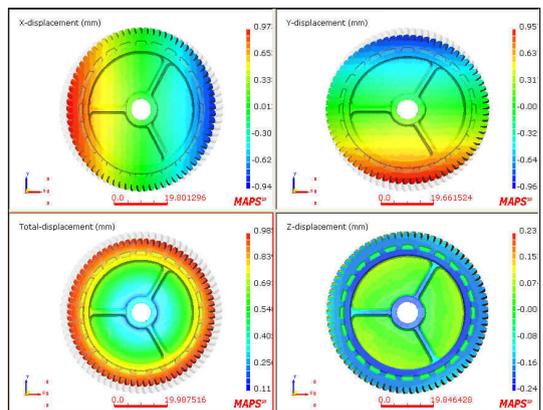


[그림 8] 옵선 2의 유동해석



[그림 9] 옵선 2의 유동해석 (압력 분포)

옵선 2의 경우 최대 성형압력은 16.7 MPa를 보이고 있으며 옵선 1의 게이트 1개소 보다는 9 MPa 낮은 압력 값을 보여준다. 그림 10은 힘 해석 수행 후 X축(가로방향), Y축(세로방향), Z축(앞뒤방향의 힘)의 결과를 보여주는 것으로 전체적인 수축량은 옵선 1의 것 과 전체적으로 비슷한 결과가 나타났다. 특히 비틀림과 관련된 Z축의 수축량은 미소하지만 옵선 1에 비해 작은 양의 수축량을 가지는 것으로 나타났다.



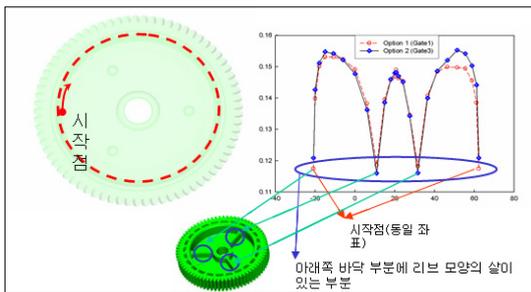
[그림 10] 옵선 2의 비틀림 해석 (비틀림/수축)

4.1.5 옵션별 결과값 비교검토

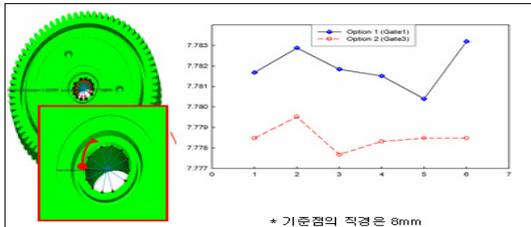
옵션별 결과값 검토는 표 1, 옵션별 Z축 방향의 힘 량 (평탄도)는 그림 11에, 옵션별 원주방향의 수축률(진원도) 비교는 그림 12에 나타내었다.

[표 1] 각 옵션별 결과(힘량 단위: mm)

항 목	Option 1	Option 2
사출압력	25.7 MPa	16.7 MPa
X축 힘량	-0.94612 ~ -0.97228	-0.94357 ~ -0.97331
Y축 힘량	-0.96438 ~ -0.96300	-0.96260 ~ -0.95786
Z축 힘량	-0.23970 ~ -0.23465	-0.24035 ~ -0.23187



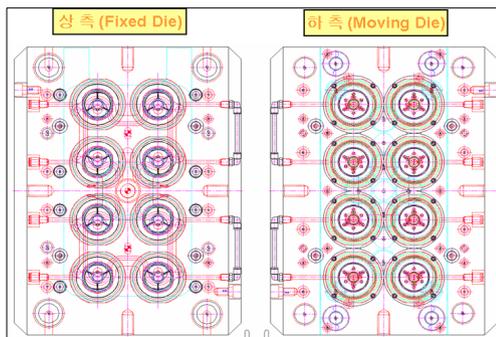
[그림 11] 옵션별 z 축에서의 비틀림 비교



[그림 12] 옵션별 원주방향의 수축률 비교

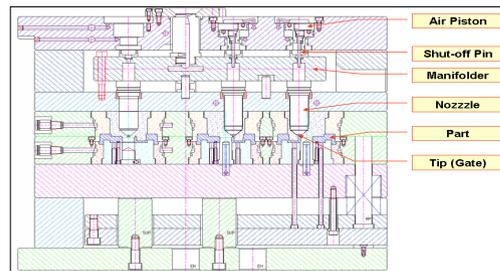
4.1.6 핫런너의 적용 가능성

그림 13은 핫런너가 적용될 상하측 8 캐비티 금형 평판을 생각하여 개략적으로 나타낸 도면이다.



[그림 13] 멀티 캐비티의 금형설계

그림 13은 자동차 윈도우 모터 어셈블리에 사용 중인 POM수지를 사용한 지름 5cm 플라스틱 기어의 2단 금형 개략도를 나타낸 것으로 캐비티, 런너, 스프루, 냉각수 채널, 핀의 위치를 표시한 것이다. 아래 그림 14는 본 연구에서 최종개발 예정인 핫런너의 8 캐비티 금형개략도 모습을 보여준다.



[그림 14] 멀티 캐비티의 핫런너 구조

5. 원통형 기어 제작을 위한 고찰

Homo-Polymer의 성형성 불리, 유동성 불리, 폼알데하이드의 가스, 성형 수축의 변형이 많아 현실적으로 핫런너 및 다수 캐비티를 적용하기에는 많은 어려운 사유가 있다. 또한, 원통형 기어 제작에 핫런너를 사용하기 위해서는 많은 시간과 노력이 들어야 하고 현재 중소기업의 수준에서는 경제적, 인력적, 현실적 투자 여력이 부족하므로 개발에 많은 어려움이 예상된다. 그러나 여러 가지 문제점이 있음에도 핫런너로 제작해야하는 이유는 현재 냉각 기어 원통형 기어의 제작 시 6 캐비티, 냉각런너의 3단 금형을 쓰고 있으나 런너 손실이 심해(12.5g/cavity, 제품중량 23g) 경쟁력을 잃어가고 있으며 무엇보다 냉각런너를 사용함으로써 런너 수지의 재활용을 하지 못한다.

런너를 재활용하지 못하고 전량 폐기하는 상황에서 다수 캐비티를 적용할 경우 재료의 손실로 인하여 최대 6 캐비티 밖에 적용을 못하고 있다. 3단 금형으로 개구간 스트로크의 한계가 있으므로 다수 캐비티를 적용할 경우에 설비의 톤수(tonnage) 또한 커져야하므로 제품단가의 상승요인이 된다. 냉각런너의 사용경우 수지가 제품에 도달하기까지의 체류시간이 길어 품질이 일정하지 못하고 불안정하다. 즉 상대적으로 핫런너에 비하여 수지의 제품 도달 시간이 상대적으로 길다.

6. 결론

파워 윈도우 모터 리프팅에 사용되는 원통형 기어의 다수 캐비티 생산을 위하여 실린더 형 기어의 성형재료의 특성, 핫런너 및 다수 캐비티 적용의 필요성, 양산을 위한 국내의 기술의 현황, 개발 시 파급 효과 및 활용방안 연구 및 구체적 CAE 연구를 통한 적절한 게이트 위치 선정 및 핫런너를 이용한 다수 캐비티 생산을 위한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 원통형 기어의 게이트 위치, 충전해석(유동패턴), 충전해석(압력분포)을 일점, 다점 게이트에 적용해봄으로써 일점 게이트로 다수 캐비티 생산을 해도 무리가 없음을 알게 되었다.
2. 일점 게이트의 적용은 힘 량(평탄도), 수축량(진원도) 검토에서 다점 게이트가 수치면에서 우수한 경우는 있으나 다수 캐비티 생산을 위한 게이트, 런너, 스프루의 재료 절감에 있어 일점 게이트를 적용해도 전체 제품 품질에 지장이 없었다.
3. 게이트 적용과 생산 방법은 핫런너를 기초개념으로 설계하고 해석되었으며 그 결과로 냉각 런너, 6 캐비티, 복잡한 3단 금형에서 핫런너, 8 캐비티, 2단 금형으로의 생산방법을 제시하였다.
4. 기존 냉각런너, 6 캐비티, 3단 금형으로의 생산 또는 전량 수입 후 전량 조립에 의존하는 생산방법에서 탈피하여 기술 혁신적, 독자적 기술력으로 다수 캐비티 용 원통형 기어를 생산할 수 있는 방법을 제시하였다.

참고문헌

- [1] 김승룡, 중소기업기술혁신개발사업 진도보고서, p p. 1-25, 2005.
- [2] 이정익, 김승룡, 조정권, "Power Window Motor Assembly", 한국기계기술학회지, Vol 8, No. 1, pp. 41-49, 2006.
- [3] 이정익, 김승룡, 조정권, "Power Window Motor Assembly의 모듈화에 대한 연구", 한국기계기술 학회 동계학술대회논문집, pp. 27-34, 2006.
- [4] 이정익, "자동차 부품에서 전동 창 모터 조립품의 생산화", 한국기계학회 춘계학술대회논문집, pp. 59 1-596, 2006.
- [5] 이종선, "제빵 금형의 거동해석", 한국산학기술학회논문지, Vol.9, No.6, pp.1506-1510, 2008.

- [6] 정재엽, 김동학, "전산모사 프로그램을 이용한 E-MOLD의 Heating Line 배치의 최적화 설계에 관한 연구", 한국산학기술학회논문지, Vol.9, No.6, pp.1754-1759, 2008.

이정익(Jeong-Ick Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 한양대학교 공과대학. 기계공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 한양대학교 공과대학. 정밀기계공학과 (공학석사)
- 1999년 8월 : 한양대학교 공과대학. 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 1999년 12월 : (주)대우전자. 중앙연구소 (선임연구원)

- 2000년 3월 ~ 2007년 2월 : 용인송담대. 자동차기계설계전공 (교수)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 인하공전. 기계공학부. 기계설계과 (교수)

<관심분야>

CAD/CAM/CAE, 공장자동화, 생산자동화, 사출금형, 유비쿼터스, MEMS, BIOMECHANICS