



공 학 박 사 학 위 논 문

다수캐비티 사출금형의 러너형상에 따른 수지의 충전거동에 관한 연구



기계공학과

한 동 엽

공 학 박 사 학 위 논 문

다수캐비티 사출금형의 러너형상에 따른 수지의 충전거동에 관한 연구

지도교수 정 영 득

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함.



기계공학과

한 동 엽

한동엽의 공학박사 학위논문을 인준함.

2008년 8월 27일



목 차

List of tables

List of photos

List of figures

Nomenclature

제 1 장 서 론	1
1. 1 연구배경 ·····	1
1. 2 최근 연구 동향	4
1. 3 연구목적 및 내용 ·····	10
1. 4 논문의 구성 ·····	14
N S S	
제 2 장 다수 캐비티 사출성형과 충전 불균형	16
2. 1 플라스틱 사출성형 ·····	16
2.1.1 사출성형 시스템	16
2.1.2 사출성형용 금형	18
2.1.3 사출금형의 유동시스템	20
2. 2 수지의 유동특성과 충전 불균형 ·····	22
2.2.1 플라스틱 수지의 유동특성 ·····	22
2.2.2 다수 캐비티 사출금형에서의 충전 불균형 ·····	27
2.2.3 기하학적 불균형 러너시스템 ·····	28
2.2.4 기하학적 균형 러너시스템	29
2. 3 사출성형해석 CAE와 충전 불균형 ·····	32

2.	4 사출성형품의 성형품질	35
	2.4.1 광택도 ·····	35
	2.4.2 성형 수축율	36
	2.4.3 인장강도	40

제 3 장 기하학적 불균형 러너시스템에서의 충전 불균형 ·41

3.	1 사출성형장치 및 실험방법 ····· 4	1
	3.1.1 사출성형기 및 실험금형 4	1
	3.1.2 실험방법 및 시편측정 ····· 44	4
	3.1.3 실험재료 및 성형조건 ····· 4	5
3.	2 실험결과 및 고찰 ······ 40	6
	3.2.1 사출압력에 따른 균형 충전도 ······ 4	6
	3.2.2 수지온도에 따른 균형 충전도 ····· 4	7
	3.2.3 사출속도에 따른 균형 충전도 ····· 50	0
	3.2.4 사출성형 CAE 해석 ····· 55	2
	A a H B	

제 4 장 기하학적 균형 러너시스템에서의 충전 불균형 · 55

4.	1 사출성형장치 및 실험방법 ·····	55
	4.1.1 사출성형기 및 실험금형	55
	4.1.2 실험방법 및 시편측정	57
	4.1.3 실험재료 및 성형조건 ·····	59
4.	2 실험결과 및 고찰 ·····	63
	4.2.1 러너 코너형상에 따른 균형 충전도	63
	4.2.2 Sharp corner의 이론적 고찰 ·····	71

4.2.3	Groove	길이	변화에	따른	균형	충전도		73
-------	--------	----	-----	----	----	-----	--	----

4.2.4 사출속도 변화에 따른 균형 충전도 79

- 4. 3 가변형 러너코어를 적용한 사례 연구 ····· 83
 - 4.3.1 사출성형장치 및 실험방법 ····· 83
 - 4.3.2 실험결과 및 고찰 ····· 84
 - 4.3.3 실험계획법에 의한 성형조건의 최적화 ····· 87

제 5 장 러너 코너형상이 제품 품질에 미치는 영향 · 90

5. 1 사출성형장치 및 실험방법 ····· 90
5.1.1 사출성형기 및 실험금형 90
5.1.2 실험방법 및 시편측정 92
5.1.3 실험재료 및 성형조건 97
5. 2 실험결과 및 고찰 ···· 98
5.2.1 러너 코너형상에 따른 광택도 변화 98
5.2.2 러너 코너형상에 따른 수축율 변화 101
5.2.3 러너 코너형상에 따른 인장강도 변화 107
aus

참고문헌	• • • •	•••	•••	•••	 ••	 •••	•••	 ••	•••	• •	•••	•	 • •	 •••	116
Abstract															

List of tables

- Table 1-1 Summary of researches on filling imbalance
- Table 3-1 Specifications of injection molding machines
- Table 3-2 Injection molding conditions for experiment
- Table 4-1 Experimental materials
- Table 4-2 Physical properties of PP and PA6
- Table 4-3 Physical properties of ABS and PC
- Table 4-4 Injection molding conditions for experiment
- Table 4-5 Control factors and level
- Table 4-6 Control factors of orthogonal table
- Table 4-7 Analysis of variance of S/N Ratio
- Table 5-1 Specifications of universal testing machine (H10KT, Hounsfield)
- Table 5-2 Injection molding conditions for experiment

List of photos

- Photo. 1-1 Filling imbalanced molding in multi-cavity injection mold
- Photo. 1-2 Experimental mold for runner core pin
- Photo. 3-1 Injection molding machine (140ton)
- Photo. 3-2 Opened experimental mold
- Photo. 3-3 The weighing machine used for weight measure
- Photo. 3-4 Molding according to injection pressure
- Photo. 4-1 Experimental injection mold assembly
- Photo. 4-2 Opened experimental mold
- Photo. 4-3 Detailed runner core and cavity
- Photo. 4-4 Experimental specimen
- Photo. 4-5 Filling imbalance according to runner corner shapes
- Photo. 4-6 Filling imbalance according to groove length
- Photo. 4-7 Detailed runner system and cavity shapes
- Photo. 4-8 Molding according to injection speed
- Photo. 5-1 Experimental cavity
- Photo. 5-2 Experimental specimens
- Photo. 5-3 The glossmeter used for gloss measure
- Photo. 5-4 Shrinkage measurement
- Photo. 5-5 Universal testing machine
- Photo. 5-6 The sample after tensile test

List of figures

- Fig. 1-2-1 Melt FlipperTM technology
- Fig. 1-2-2 Melt Flipper MAXTM technology
- Fig. 1-2-3 Runner core pin technology
- Fig. 1-2-4 The melt flow in runner installed RC pin
- Fig. 1-2-5 Different shear rate between primary and secondary runner
- Fig. 2-1-1 Composition of injection molding system
- Fig. 2-1-2 Types of injection molds
- Fig. 2-1-3 Delivery system and cavity in the mold
- Fig. 2-2-1 Profile of shear rate within runner
- Fig. 2-2-2 Typical velocity, shear rate, temperature and viscosity profiles
- Fig. 2-2-3 Temperature sensitivity of various polymers
- Fig. 2-2-4 Filling imbalances in multi-cavity injection mold
- Fig. 2-2-5 Filling pattern accoding to injection speed
- Fig. 2-2-6 Different shear rate between primary runner and secondary runner
- Fig. 2-2-7 Filling imbalance in binary branch type runner
- Fig. 2-2-8 Filling imbalance in unary branch type runner
- Fig. 2-3-1 Mesh models for binary branch runner system
- Fig. 2-3-2 Fill time in CAE analysis
- Fig. 2-3-3 Temperature at flow front in CAE analysis

- Fig. 2-4-1 The principle of glossmeter
- Fig. 2-4-2 pvT diagrams of amorphous and semi-crystalline plastic
- Fig. 2-4-3 Relationship between shrinkage and characteristic parameter
- Fig. 2-4-4 The standard specimen
- Fig. 3-1-1 Dimension of experimental mold
- Fig. 3-2-1 DFB according to injection pressure
- Fig. 3-2-2 DFB according to melt temperature
- Fig. 3-2-3 DFB according to injection speed
- Fig. 3-2-4 Mesh models for various runner diameter
- Fig. 3-2-5 Filling imbalances in flow analysis
- Fig. 4-1-1 Various runner shapes
- Fig. 4-2-1 Mesh models for various runner corner shapes
- Fig. 4-2-2 Fill time for various runner corner shapes
- Fig. 4-2-3 Temperature distribution for various runner corner shapes
- Fig. 4-2-4 Various polymer's DFB according to runner corner shapes
- Fig. 4-2-5 Filling imbalance in sharp corner type runner
- Fig. 4-2-6 Temperature distribution according to groove length
- Fig. 4-2-7 Fill time for various groove length
- Fig. 4-2-8 Schematics of runner core
- Fig. 4-2-9 Various polymer's DFB according to groove length

- Fig. 4-2-10 Various polymer's DFB according to injection speed in groove corner
- Fig. 4-2-11 Various polymer's DFB according to injection speed in sharp corner
- Fig. 4-2-12 Various polymer's DFB according to injection speed in balanced runner
- Fig. 4-2-13 Relation of viscosity and shear rate
- Fig. 4-3-1 DFB according to injection speed (PP)
- Fig. 4-3-2 DFB according to injection speed (ABS)
- Fig. 4-3-3 Main effects plot for S/N ratios
- Fig. 5-1-1 Dimensions of experimental specimen
- Fig. 5-1-2 The gloss measuring point
- Fig. 5-1-3 Position for shrinkage measurement
- Fig. 5-2-1 Comparison of polymer's gloss in groove corner
- Fig. 5-2-2 Comparison of polymer's gloss in sharp corner
- Fig. 5-2-3 Comparison of polymer's gloss in balanced runner
- Fig. 5-2-4 Comparison of polymer's shrinkage in groove corner (flow direction)
- Fig. 5-2-5 Comparison of polymer's shrinkage in sharp corner (flow direction)
- Fig. 5-2-6 Comparison of polymer's shrinkage in balanced runner (flow direction)
- Fig. 5-2-7 Comparison of polymer's shrinkage in groove corner (cross direction)

- Fig. 5-2-8 Comparison of polymer's shrinkage in sharp corner (cross direction)
- Fig. 5-2-9 Comparison of polymer's shrinkage in balanced runner (cross direction)
- Fig. 5-2-10 Comparison of polymer's tensile strength in groove corner
- Fig. 5-2-11 Comparison of polymer's tensile strength in sharp corner
- Fig. 5-2-12 Comparison of polymer's tensile strength in balanced runner
- Fig. 5-2-13 The relation of tensile strength and strain (PP)

Fig. 5-2-14 The relation of tensile strength and strain (PA6)

Fig. 5-2-15 The relation of tensile strength and strain (ABS)

Fig. 5-2-16 The relation of tensile strength and strain (PC)

Nomenclature

V_0	:	Maximum melt velocity	[cm/sec]
R	:	Radius of runner	[cm]
dr	:	Distance from flow center line	[cm]
n	:	Power law index	
$\dot{\gamma}$:	Shear rate	$[sec^{-1}]$
au	:	Shear stress at boundary	[Pa]
η_0	:	Viscosity at $\dot{\gamma}=0$	[Pa·s]
T^{*}	:	Transition temperature at n=∞	[℃]
Т	:	Melt temperature	[℃]
A_1	:	WLF's coefficients	[K]
A_2	:	WLF's coefficients	[K]
D_1	:	Reference viscosity at $\dot{\gamma}=0$	[Pa·s]
D_2	:	Transition temperature when gauge pressure reaches	zero [K]
D_3	:	T^* 's variation by pressure	[K/Pa]
T_b	:	Temperature sensitivity	[K]

제1장서론

1.1 연구배경

플라스틱 재료는 기계, 건설, 전기, 전자, 항공 우주산업 및 생활 용품에 이르기까지 응용범위가 워낙 광범위하고 다양하여 거의 모든 산업에 응용되고 있으며, 그 사용범위가 계속해서 증가하고 있다. 플라스틱 재료는 금속과 같은 전통적인 재료에 비하여 경량 화에 의한 비강도와 비탄성률이 우수하며, 밀도가 낮고, 비교적 낮은 온도에서 성형가공 될 수 있다. 또한 다양한 용도로 쉽게 가공될 수 있어, 현재 가장 즐겨 찾는 재료가 되었고 최근에는 금속, 나무, 유리, 세라믹 등으로 만들었던 많은 부품들이 플라스틱으로 새로이 설계되고 있다^{1,2)}.

플라스틱 제품의 성형공정은 사출성형, 압축성형, 트랜스퍼 성형 (transfer molding), 적층성형(laminate molding), 압출성형, 중공 성형(blow molding), 캘린더링(calendaring), 진공성형, 회전성형 등 다양한 성형방법이 개발되어 있으나, 그 중에서 사출성형이 플라스틱 성형의 약 70% 이상을 차지하고 있다. 사출성형은 타 공정에 비하여 월등히 생산성이 높으면서도 정밀 치수의 성형이 가능하며, 반복 정밀도도 높기 때문에 많은 분야에서 적용하고 있으나, 금형 및 성형 기와 같은 설비의 비용이 높고 성형조건의 설정이 까다로운 편이다. 그러나 최근에는 금형설계 이전에 시뮬레이션을 통해 성형성 및 후변형을 알아보기 위한 사출성형 CAE(computer aided engineering) 소프트 웨어가 많이 활용되고 있으며, 사출성형 CAE 소프트웨어는 최적의 성형조건을 선정하여 최대한 빠른 시간에 금형의 제작에서 성형까지 가능하게 한다.

플라스틱의 성형 공정에서 생산성을 향상시키기 위해서는 성형 사이클타읶의 단축과 다수 캐비티 금형³⁾ 개발이 필수적인데, 성형 사이클타임의 단축을 위해서는 적절한 냉각시스템과 고속 사출성형기 등에 관한 연구가 필요하며, 다수 캐비티 금형에서는 각 캐비티에서 성형되는 성형품에 대한 균일한 품질의 확보를 위한 최적 성형조건의 탐색과 금형구조의 개선에 관한 연구가 선행되어야 한다. 사출성형 공정 중의 충전 불균형(filling imbalance)은 제품의 변형과 내부응력을 증가 시키고, 불균일한 수축 및 배향 등을 유발하여 제품 품질을 저하 시키게 된다. 또한, 이것은 제품 성형시 발생되는 과보압 및 성형품의 플래쉬(flash)를 일으키고 결과적으로는 금형 수명을 단축시키게 된다. 이와 같은 다수 캐비티 사출금형에서 충전 불균형은 1997년 Beaumont⁴⁾에 의해 그 현상의 원인이 규명되기 이전에는 단순히 불균일한 금형온도의 분포, 러너시스템 및 캐비티 가공시의 오차, 사출 압력에 의한 금형형판의 휨 등에서 오는 결과로 간과되어 왔다. 그러나 실제로 충전 불균형은 충전단계에서 러너 내에 발생하는 불균일한 전단분포에 기인하여 발생되므로 점도 변화에 영향을 주는 수지의 물성, 러너의 배열(layout)과 같은 외부 요인과 사출압력(injection pressure), 사출속도(injection speed), 수지온도(melt temperature),

금형온도(mold temperature)와 같은 성형공정 조건에 의한 내부

요인에 의해 충전 불균형의 양상이 달라지게 된다⁵⁾. 이러한 현상에 대해서는 최근 국내에서도 활발한 연구가 이루어지고 있으며, 구체적인 연구 성과들이 발표되고 있다.

본 연구에서는 다수 캐비티를 가지는 사출금형에서 발생하는 충전 불균형 현상에 대해 그 원인을 구체적으로 규명하고, 충전 불균형에 영향을 주는 외부 요인중의 하나인 러너시스템 형상에 따른 균형 충전도를 중점으로 연구하였으며, 충전 불균형을 최소화 하기 위한 새로운 러너시스템의 형상을 제시하고, 기존의 러너시스템과 제안 된 러너시스템에서 사출성형된 제품의 성형품질을 비교 분석코자 하였다. Photo. 1-1은 실제 다수 캐비티의 사출금형에서 발생하는 각 캐비티 간의 충전 불균형 현상을 나타낸 사진이다.



Photo. 1-1 Filling imbalanced molding in multi-cavity injection mold

1.2 최근 연구 동향

다수 캐비티 사출금형의 충전 불균형에 관련된 연구는 1997년 Beaumont⁴⁾에 의해 발표된 것을 시작으로 현재까지 다수의 연구 결과가 발표되고 있다. 기존의 연구 결과를 분류하면 충전 불균형 현상의 이론적 해석과 기초 실험에 관한 연구, 사출성형해석 CAE를 활용한 충전 불균형에 관한 연구, 충전 불균형 현상의 해소를 위한 러너의 형상 개선과 관련된 연구 등의 3가지로 크게 분류할 수 있다.

충전 불균형 현상의 이론적 해석과 기초 실험에 관한 연구는 Casaldi와 Michel⁶⁾ 등이 사출공정조건 중 전단률에 가장 큰 영향을 미치는 유동속도와 충전 불균형의 관계를 분석하여, 유동속도가 클수록 충전 불균형도는 감소한다고 발표하였으며, White⁷¹는 콜드 러너에서 발생하는 충전 불균형 현상이 핫러너에서도 발생한다는 연구결과를 발표하였다. Allen과 Lacey⁸⁾는 러너에서 발생하는 충전 불균형 현상의 원인인 불균일한 전단 분포는 스프루에서 부터 발생 한다는 사실을 2 캐비티 플라스틱 기어 성형품을 예로 들어 연구 하였다. 또한 Reifschneider⁹¹은 캐비티 충전량에 따른 충전 불균형에 대해 분석하였으며, Auell과 Baily¹⁰¹는 TPE(thermoplastic elastomer)의 충전 불균형 거동에 관한 연구를 하였고, Cypher와 Neely¹¹¹는 충전 불균형 시편의 측정방법에 관한 연구결과를 발표하였다.

사출성형해석 CAE를 활용한 충전 불균형 현상의 주요 연구결과 로는 Kumar와 Grald¹²⁾, Chien과 Chiang¹³⁾, Jang과 Jeong¹⁴⁾ 등이 충전공정을 수치 해석적인 방법과 3D 시뮬레이션을 통해 충전 불균형 현상을 실제 실험결과와 비교하였다.

충전 불균형 현상의 해소를 위한 러너의 형상 및 개선에 관련된 주요 연구결과로는 Young과 Beaumont⁴⁾가 발표한 논문에서 일반적인 "H"러너에서 1차 러너를 2단으로 분리하여 기존의 러너에서 발생하던 66%~72%의 충전 불균형을 46.6%~48.8%로 줄일 수 있음을 발표 하였고, Hoffman과 Beaumont¹⁵⁾ 등은 1차 러너 내부에서 발생하는 불균일한 전단률 분포를 Fig. 1-2-1과 같은 Melt Flipper^{TM 16,17)}라는 장치를 사용하여 수지의 유동을 회전시켜 2차 러너에서는 흐름에 대칭되게 전단률을 분포시킴으로써 충전 불균형을 8배이상 해소 시킬 수 있었으며, Boell과 Beaumont¹⁸⁾는 핫러너 매니폴더에 Melt FlipperTM를 설치하여 2차 러너 내부의 전단률 변화를 관찰한 결과 콜드러너와 같은 효과를 얻어 충전 불균형 현상이 감소한다는 사실을 발표하였다. Beaumont는 최근에 스프루에서 1차 러너에 연결되는 부분에서 수지 유동의 회전을 위하여 Fig. 1-2-2와 같은 Melt Flipper Max^{TM 19)}라는 새로운 금형구조를 발표하였다.

한편, 국내에서의 연구결과로는 부경대학교 기계공학부 정밀성형 실험실에서 위에서 기술한 기존의 연구내용을 비교 확인하기 위한 다수의 연구결과²⁰⁻²⁵⁾를 비롯하여 다구찌의 실험계획법을 이용한 성형 공정조건이 충전 불균형에 미치는 영향도에 대한 연구결과가 발표 되어 있다^{26,27)}. 이러한 충전 불균형에 대한 이론적 고찰과 실험연구 결과를 바탕으로 3매 구성형 핀포인트 게이트 금형에서 균형 충전이 가능한 새로운 금형구조인 4매구성 금형(4BF mold라 호칭함)²⁸⁾의 구조를 제안하고 실험적으로 그 유효성을 확인한 바 있다. 또한, Photo. 1-2와 Fig. 1-2-3에서와 같이 새로운 4캐비티 이상의 사출 성형용 금형에서 금형외부에서 RC pin을 미세 조절할 수 있는 RC pin 금형구조²⁹⁻³¹⁾를 제안하였으며, 그 유효성에 대해 실험한 결과 실용성을 검증한 연구 결과가 발표되어 충전 불균형 해소방안에 대한 많은 성과를 이루었다. Fig. 1-2-4와 Fig. 1-2-5는 RC pin 금형의 도식적 모델을 나타내고 있다.

이상에서 기술한 다수 캐비티 금형에서의 충전 불균형에 관한 연구 결과를 정리하면 Table 1-1과 같다.



Fig. 1–2–1 Melt FlipperTM technology



Fig. 1–2–2 Melt Flipper MAX^{TM} technology



Photo. 1-2 Experimental mold for runner core pin



Fig. 1-2-3 Runner core pin technology



Fig. 1-2-4 The melt flow in runner installed RC pin



Fig. 1-2-5 Different shear rate between primary and secondary runner

Classification	Title of Papers	Authors	No. of Reference
	Process Window as Effected by Shear Induced Flow Imbalance in Multicavity Molds	Casaldi, Michel	6
	Development of Filling Imbalances in Hot Runner Molds	White	7
Experimental Study	The Affects of Shear Induced Imbalance on the Concentricity of Injection Molded Gears	Allen, Lacey	8
	Documenting Flow Segregation in Geometrically Balanced Runners	Reifschneider	9
	Examination of Method for Diagnosing Mold Filling Imbalances in New Multi-Cavity Molds	Cypher, Neely	10
CAE	Experimental and Numerial Analysis of the Flow Imbalance in a Runner System	Kumar, Egelja	11
Applications for Balanced	True 3D CAE Visualization of Filling Imbalance in Geometry-Balanced Runners	Chien, Chiang	12
Filling	Flow Analysis of Filling Imbalance according to Runner Shapes in Injection Mold	Jang, Jeong	13
	Revolutionizing Runner Design Hot & Cold Runner Molds	Beaumont	32
New	Mold Filling Imbalances in Geometrically Balanced Runner Systems	Beaumont, Young, Jaworski	4
Runner Shape or	Artificially Balancing Geometrically Balanced Runner Systems	Boell, Beaumont, Young	17
Mold Structure	Filling Imbalnce in 3plate Type Injection Molds with Multi-Cavity	Deok Keun Je, Yeong Deug Jeong	19
for Balanced Filling	Development of New Runner System for Filling Balance in Multy Cavity Injection Mold	Deok Keun Je, Yeong Deug Jeong	29, 30, 31
	The Effect of Sharp Corners and Runner Length on Melt Flow Imbalances	Raymond W. McKee Joshua A. Hoover	33
	Investigation of Reversed Shear Induced Melt Imbalances in Injection Molds	Beamont	34

Table 1-1 Summary of researches on filling imbalance

1.3 연구목적 및 내용

다수 캐비티 금형을 적용하고 있는 산업현장에서는 각 캐비티 간에 균형 충전을 위하여 러너의 크기나 게이트 크기를 변경시켜 균형 충전을 도모하기도 하지만, 이러한 방법은 각 캐비티에 작용하는 사출압력이나 수지의 밀도가 달라져 성형품의 품질에 영향을 미치므로 완전한 해결책은 되지 못한다. 사출성형에 있어서 생산성과 성형품의 품질을 극대화하기 위해서는 다수 캐비티의 금형에서 각 캐비티에서 성형되는 성형품들은 균일 하여야 하며, 이를 달성하기 위해서는 각 캐비티의 금형치수도 동일하며 충전조건이나 냉각조건 또한 동일해야 한다.

다수 캐비티 금형은 일반적으로 기하학적 불균형 러너시스템과 기하학적 균형 러너시스템으로 분류된다³⁵⁾. 기하학적 불균형 러너 시스템(이하"불균형 러너시스템"으로 간략화 하여 호칭함)은 나뭇 가지(branch type) 또는 고기뼈(fishbone type) 형태로 배치되며 보통은 추천되지 않지만 사출공정시 러너 재료를 감소시키고 사출 압력을 줄일 수 있어 대량생산용으로 공차가 정밀하지 않는 제품에 여전히 사용되고 있다. 나뭇가지형 러너시스템에서 발생되는 충전 불균형은 러너의 배열, 직경 등에 의해서도 변하지만 사출압력 (injection pressure), 사출속도(injection speed), 수지온도(melt temperature), 금형온도(mold temperature)와 같은 성형조건에 의해 서도 달라지게 된다³⁶⁾. 본 논문에서 연구된 불균형 러너시스템에서의 충전 불균형에 관한 주요 연구내용은 아래와 같다.

- 1) 사출압력에 따른 균형 충전도
- 2) 수지온도에 따른 균형 충전도
- 3) 사출속도에 따른 균형 충전도
- 4) 사출성형해석 CAE에서의 충전거동

기하학적 균형 러너시스템(이하 "균형 러너시스템"으로 간략화 하여 호칭함)에서는 실제로 러너 내에서의 전단분포의 불균형과 그로 인한 점도의 불균형으로 충전 불균형의 원인이 된다는 이론이 밝혀진 이후 이에 대한 연구가 점진적으로 이루어져 왔으나 충전 불균형 해소에 대한 연구 성과는 미미한 실정이였다. 한편, 최근 국내 연구 에서 충전 불균형에 영향을 미치는 성형조건 인자를 분석하여 충전 불균형을 최소화하는 소프트웨어적 해결방안이 다수 발표되기 시작 하면서 사출금형 1차 러너 분기점에 코어핀을 채용한 RC pin (runner core pin) 구조를 갖는 금형을 개발하여 하드웨어적 해결 방안까지 제시하는 등 가시적인 성과를 이루고 있다. 그러나 최근 금형산업의 비약적인 발전속도와 더불어 성형품에 대해 um 단위까지 치수정밀도가 높은 고정도, 고품질을 요구하는 현실을 비추어 볼 때 충전 불균형 해소에 대한 지속적인 연구의 성과가 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 편측 분기형 러너시스템에서 최근 Beaumont와 McKee and Hoover에 의해 발표된 러너의 reverse corner(sharp corner라 호칭함) 효과^{33,34)}와 부경대학교 정밀성형실험실에 의해 발표된 cold slug well(groove corner라 호칭함) 효과³⁷⁾에 대한 연구 결과를 기반으로 하여 러너코너(runner corner) 형상에 따른 균형

충전도에 대한 연구와 균형 충전을 위한 가변형 러너코어를 적용한 하나의 새로운 러너시스템을 제안³⁸⁾하였으며, 이에 관한 주요 연구 내용은 아래와 같다.

- 1) 러너 코너형상에 따른 균형 충전도
- 2) sharp corner의 이론적 고찰
- 3) groove 길이 변화에 따른 균형 충전도
- 4) 사출속도 변화에 따른 균형 충전도
- 5) 가변형 러너코어를 적용한 사례 연구

최근 제조회사들은 값 싸고 질 좋은 제품을 빠른 시일 내에 개발 하기 위해 제품기획에서 시제품의 생산까지 전 개발과정을 동시에 처리하는 동시공학적 기법을 적극 활용하고 있다. 이러한 제조환경의 변화에 따라 플라스틱 제품개발에 사출성형해석 소프트웨어가 많이 활용되고 있다. 사출성형해석 소프트웨어를 통하여 제품의 개발 단계에서 급형 및 제품의 문제점을 미리 파악할 수 있으며, 불필요한 금형 수정을 줄일 수 있어 개발 비용 및 시간을 줄일 수 있다. 또한 사출성형해석에 의해 제품의 성형가능성을 검증하고 최적의 성형 조건을 선정하여 양질의 제품을 생산할 수 있어, 생산 효율 측면에 서도 많은 이익을 가져다준다. 그동안 사출성형해석 소프트웨어에서 2D 메쉬에 대한 많은 검증을 통해 사출성형해석의 유용성을 인정받아 많이 사용되어 왔다. 그러나 2D 메쉬에서는 젯팅(jetting), 플로우 마크(flow mark) 및 다수 캐비티(multi-cavity)에서의 충전 불균형 (filling imbalance) 현상 등 세밀한 성형불량 현상을 구현할 수 없어 실용상 다소의 걸림돌이 된 것이 사실이다. 최근 3D 메쉬(tetra mesh) 툴을 가진 완전 3D용 사출성형해석 소프트웨어의 보급과 계속되는 업그레이드(upgrade)로 충전 불균형 현상의 일부를 구현 하는 등 실제 사출성형 결과에 가까운 정밀한 해석이 가능해지고 있어 앞으로 3D 메쉬를 활용한 사출성형해석 소프트웨어의 활용도가 더욱 증가될 것으로 예상된다. 본 논문에서는 각 장의 연구에서 사출 성형해석과 실제 사출성형 실험결과를 분석하였으며, 이를 반영한 3D 사출성형해석 소프트웨어 개발의 필요성을 언급하였다.

마지막으로 위와 같은 이론적 배경과 실험내용들을 기초로 하여 제안된 다수 캐비티 금형에 적용할 수 있는 균형 충전용 러너시스 템의 유효성을 검증하기 위해 균형 충전에 의한 사출성형품의 성형 품질에 대하여 분석하였다. 러너시스템 형상이 제품성능에 미치는 영향에 관한 주요 연구내용은 아래와 같다.

14 0

1) 러너 코너형상에 따른 광택도 변화
2) 러너 코너형상에 따른 수축률 변화
3) 러너 코너형상에 따른 인장강도 변화

본 논문은 다수 캐비티를 갖는 정밀성형용 사출금형의 설계와 이를 이용한 성형공정의 활용과 러너시스템에 따른 성형특성을 이해하는데 도움이 되리라 생각한다.

1.4 논문의 구성

본 논문은 6개의 장으로 구성되었으며, 다수 캐비티 사출금형에서 불균형 러너시스템과 균형 러너시스템에서 발생하는 충전 불균형 현상에 대하여 연구한 논문으로 열가소성 플라스틱 재료 중 결정성 수지와 비결정성 수지를 대상으로 성형조건과 러너시스템의 형상에 따라 균형 충전도에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 또한, 그 결과를 분석하여 충전 불균형 현상을 해소할 수 있는 새로운 러너시스템을 제시하여 그 시스템에 의해 사출성형 된 성형품의 품질에 대하여 비교 분석 하였으며, 그 실용성을 검증하기 위한 실험내용 및 결과를 주 내용으로 다루었다. 다음은 각 장에서 기술한 내용들이다.

제 1장에서는 다수 캐비티 금형에서의 충전 불균형 현상에 대한 연구의 배경과 최근까지의 연구동향에 대하여 기술한 후, 본 연구의 목적 및 내용에 대해서 기술하였다.

제 2장에서는 사출성형 시스템과 다수 캐비티 사출금형의 특성에 대해 기술하고 플라스틱 수지의 유동특성을 설명하였으며, 이로 인한 다수 캐비티 사출금형에서의 러너시스템에 따른 충전 불균형의 원인을 도식적으로 규명하였으며, 성형해석 프로그램에서 충전 불균형 현상의 구현 가능성을 확인하기 위해 양측 분기형 러너시스템의 모델을 대상으로 CAE 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 사출성형품의 성형 품질 요소인 광택도, 성형 수축률, 인장강도에 대하여 기술하였다.

제 3장에서는 불균형 러너시스템에서의 충전 불균형 현상을 열가 소성 플라스틱 재료 중 결정성(PP) 수지와 비결정성(ABS) 수지를 대상으로 성형조건에 따라 사출성형 해석을 수행한 후 그 결과와 실제 사출성형 실험결과를 비교하였다.

제 4장에서는 균형 러너시스템에서의 충전 불균형 현상에 대하여 사출성형 해석을 수행한 후 그 결과와 실제 사출성형 실험결과를 비교하였다. 편측 분기형 러너시스템에서 sharp corner 효과와 groove corner 효과에 대한 연구 결과를 기반으로 하여 균형 충전을 위한 가변형 러너코어를 적용한 하나의 새로운 러너시스템을 제안 하였으며, 그 동안 언급되지 않았던 sharp corner 러너 형상에서의 충전 불균형 현상을 설명할 수 있는 도식적 모델을 제시하였다. 또한, 코너 형상이 groove corner 일 때 groove의 길이가 균형 충전에 미치는 영향에 대하여 분석하였으며, 성형 인자 중 사출속도의 변화가 코너 형상에 따라 균형 충전에 미치는 영향에 대한 실험을 수행하여, 그 내용을 기술하였다. 또한, 제안된 러너시스템의 유효 성을 검증하기 위한 사례 연구로 포크(fork) 형상의 캐비티를 대상 으로 사출성형을 통하여 그 실효성을 검증하였다.

제 5장에서는 균형 러너시스템의 다수 캐비티 금형에서 제안된 groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 새로운 러너시스템을 검증하기 위해 실제 성형된 성형제품을 대상으로 하여 광택도, 수축률, 인장강도 등의 성형품질에 대하여 평가하였다.

제 6장에서는 이상의 연구를 수행하여 얻은 주요 연구결과를 중심으로 한 결론을 기술하였다.

제 2 장 다수 캐비티 사출성형과 충전 불균형

2.1 플라스틱 사출성형

2.1.1 사출성형 시스템

Fig. 2-1-1은 전형적인 사출성형 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 사출성형기에는 사출부, 금형 체결부, 유압 작동부, 형체력 유지부, 전자 제어부, 프레임으로 구성된다. 사출성형 시스템은 형체결력과 사출능력의 크기로 규격을 나타낸다. 그 외 규격은 사출속도(injection speed), 사출압력(injection pressure), 스크루 직경(screw diameter), 금형두께 및 타이바 사이의 거리 등이 있다. 사출성형시스템 외의 보조 장치로는 수지 건조기, 재료이송 장치, 분쇄기, 금형온도 제어기, 냉각장치, 제품제거 로봇(robot) 등이 있다.

Fig. 2-1-1의 (1)은 사출 시스템으로 호퍼(hopper), 배럴(barrel), 왕복 스크류(reciprocating screw) 및 고정반(fixed plate)으로 구성되어 있다. 수지 이송과 압축, 가스 제거, 수지 재료의 가소화 및 사출 등의 과정을 수행하고, 최종적으로 수지 재료를 계량하는 역할을 한다. 사출 성형기의 호퍼는 수지 재료의 펠릿(pellet) 저장 및 건조기능을 하고, 재료를 배럴과 스크류 장치로 이송하는 역할을 한다. 배럴은 재료를 가소화 시키는 스크류를 지지하고, 노즐은 실린더를 금형의 스프루 부시에 연결하며 실린더와 금형 사이의 밀폐를 형성해 용융수지를 전달한다. Fig. 2-1-1의 (2)는 금형 시스템으로 고정측 형반과 이동측 형반으로 구분할 수 있다. 고정측 형반과 이동측 형반 사이에 금형을 설치한다. Fig. 2-1-1의 (3)은 유압 시스템으로 배럴내부의 스크류를 회전시키고, 용융 재료에 압력을 가하여 금형 내부의 캐비티를 충전 시키는 역할을 한다. Fig. 2-1-1의 (4)는 형체시스템으로 금형의 개폐 역할을 하고, 성형품의 취출시 취출판을 구동시키는 역할을 한다. 형 체력은 유압식, 토클식, 전동식 등에 의해서 이루어진다.

Fig. 2-1-1의 (5)는 전자 시스템이며, 제어화면, 프로그램입력, 변수 설정, 데이터 통신 등을 할 수 있는 부분으로 보통 별도의 조작반으로 설치되어 있다. 그리고 보통 릴레이, 유압펌프, 유압 탱크 등이 위치 하는데 성형기 운전을 위한 온도, 압력, 사출속도, 스크류 속도 및 위치 등을 제어한다.



(5) Electrical control system

Fig. 2-1-1 Composition of injection molding system

2.1.2 사출성형용 금형

Fig. 2-1-2는 플라스틱 제품을 성형하기 위한 금형구조를 나타낸 것으로 2단 금형(2 plates mold)과 3단 금형(3 plates mold) 등이 대표적이다. Fig. 2-1-2의 (a)는 금형구조 중에서 가장 기본이 되는 형태로, 캐비티 플레이트(cavity plate)와 코어 플레이트(core plate) 사이를 가공하여 원하는 제품 형상이 만들어 질 수 있도록 공동부를 제작한다. 고압으로 용융된 수지를 그 공동부에 주입하고, 일정시간의 냉각시간을 둔 후, 캐비티 플레이트와 코어 플레이트를 열고, 취출핀 (ejector pin)이 고정되어 있는 취출판(ejector plate)을 상승시켜 제품을 금형으로 분리시키는 구조이다. 이러한 유형의 금형은 전형적 으로 코어 플레이트에 수지가 유동되는 러너를 가지고, 제품의 테두 리나 그 주위에 게이트가 있는 제품에 사용된다. 본 논문에 사용된 실험용 금형은 본 구조의 금형에 해당된다.

Fig. 2-1-2의 (b)에 나타낸 3매 구성금형은 주로 제품의 테두리에 게이트를 설치할 수 없을 경우와 제품의 균형적인 충전을 위한 경우에 적용할 수 있다. 러너는 러너 스트리퍼 플레이트(runner stripper plate)의 뒷면에 자리하고, 핀포인트 게이트(pin point gate)의 채용으로 게이트를 임의의 위치에 설정할 수 있으므로, 다수 캐비티 금형에 적용할 수 있고, 성형품 가운데에 게이트의 위치 설정이 가능하다. 열리는 파팅면이 많고 속도가 늦어지게 되어 사이클 타임이 길어지는 단점이 있으나, 성형품의 2차 가공이 필요 없어 생산성을 향상시키는데 도움이 되는 구조이다^{39,40)}.



(b) 3 plate type

Fig. 2-1-2 Types of injection molds

2.1.3 사출금형의 유동시스템

용융수지를 성형기 노즐로부터 캐비티로 유입시키기 위한 이동 통로를 제공하는 유동 시스템은 Fig. 2-1-3에서와 같이 스프루 (sprue), 콜드 슬러그 웰(cold slug well), 러너(runner), 게이트(gate)가 포함된다.



Fig. 2-1-3 Delivery system and cavity in the mold

사출성형용 금형은 캐비티, 스프루 및 러너 시스템을 지지하는 성형판, 이젝트핀, 그리고 냉각회로로 이루어져 있다. 사출성형은 기본적으로 용융된 수지를 고압으로 제작된 금형내부의 성형품 형상 으로 가공된 공간(cavity)에 주입한 후, 냉각시키고 취출한다. 스프루는 성형하고자 하는 수지의 유동 특성과 제품의 크기, 두께 및 유동길이 등을 고려하여 결정하여야 한다. 스프루는 다른 단면보다 먼저 고화 되어서는 안되고, 보다 쉽고 확실하게 수지를 캐비티에 도달시켜야 한다. 러너는 수지가 스프루에서 캐비티로 흘러 들어가도록 하는 통로 역할을 한다. 러너를 따라 수지가 유동하기 위해서는 사출압력이 요구된다. 용융 수지가 러너를 따라 흐를 때 마찰열이 발생하여 수지의 온도를 높이고, 이는 유동하는 수지의 흐름을 개선시킨다. 단면이 큰 러너는 상대적으로 단면이 작은 러너에 비해 작은 압력이 요구되므로 흐름이 원활하지만 긴 냉각시간, 많은 재료의 소비, 큰 형체력이 필요 하므로 적절한 러너 직경이 요구된다. 이상적인 사출성형은 동일한 상태의 용융수지가 금형 내부의 모든 캐비티에 균형 충전을 이루는 것이다.

게이트는 용융된 수지가 금형 안으로 들어갈 수 있도록 해주는 역할을 한다. 1점 게이트는 다점 게이트에 비하여 더 좋은 유동 형태를 얻을 수 있으나, 제품의 생산성 측면은 다점 게이트가 유리하다. 1점 게이트는 특별한 경우를 제외하고는 제품에 웰드라인(weld line), 멜드라인(meld line)을 만들지 않고, 스크랩의 양이 적기 때문에 경제 적이다. 게이트의 위치는 기능이나 외부형태에 손상이 없는 가장 두꺼운 부분에 변형을 최소화하기 위해 대칭으로 설치하고, 에어 배출을 돕기 위해 공기 배출구를 설치하고, 제팅(jetting)을 발생시키지 않는 크기로 하며, 다점 게이트는 웰드라인, 멜드라인의 발생 위치에 주의해야 한다.

2.2 수지의 유동특성과 충전 불균형

2.2.1 플라스틱 수지의 유동특성

플라스틱 재료인 수지는 러너 내에서 유동 시 층류유동(laminar flow)의 특성을 나타내며, 폴리머의 층과 층 사이의 상대유동과 유동채널의 반경에 따라 흐르는 폴리머의 유동은 다르게 나타난다. 이 변화의 비율을 전단률(shear rate)이라 하며, 유동채널 내에서의 수지유동에 대한 전단률 곡선은 Fig. 2-2-1과 같은 형상으로 나타 난다. 전단률은 러너 벽면 고화층 아래에서 가장 크게 형성되며, 러너 중심으로 갈수록 전단률은 감소하여 유동채널 중심에서의 전단률은 0이 된다. 이와 같은 전단률 분포는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.⁵⁾



Fig. 2-2-1 Profile of shear rate within runner
$$\dot{\gamma} = \frac{\partial}{\partial r} \left[V_0 \left(1 - \left(\frac{dr}{R} \right)^{(n+1/n)} \right) \right] \tag{1}$$

여기서,

V₀: 최고 흐름 속도 (cm/sec)

R : 러너의 반경 (cm)

dr : 흐름 중심으로부터의 위치 (cm)

n : 지수법칙에 따른 수지지수

수지가 러너 내부를 흐를 때 형성된 전단률 분포는 유속이 빨라 짐에 따라 Fig. 2-2-2와 같이 러너의 반경에 따라 변하게 된다. 정 상적인 성형 조건에서는 전단률이 커지면 그 부위의 온도는 높아지 게 되고, 수지의 점성은 낮아지는 소위 전단감소(shear thinning)현 상을 나타내어 해당부위의 유동성을 증가시키는 요인이 된다. 사출 성형 시 수지점도와 전단률 등과의 관계는 다음의 식(2)와 같은 수정 Cross 점도 모델을 사용하여 나타낼 수 있다²⁰⁾.

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \times \dot{\gamma}}{\tau}\right)^{(1-n)}} \tag{2}$$

여기서,

 $\dot{\gamma}$: 전단률(shear rate) (sec⁻¹)

τ : 경계역에서의 전단응력 (Pa)

n : 비뉴턴 지수

 η_0 : 제로 전단률에서의 점도 (Pa \cdot s)



Fig. 2-2-2 Typical velocity, shear rate, temperature and viscosity profiles

제로 전단률에서의 점도 η₀는 온도와 압력의 함수로써 식(3) 및 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta_0(T, P) = D_1 \exp\left[-\frac{(A_1(T - T^*))}{(A_2 + (T - T^*))}\right]$$
(3)
$$A_2 = \widetilde{A_2} + D_3 P$$

$$T^* = D_2 + D_3 P$$

$$\eta_0(T) = B \exp\left(\frac{T_b}{T}\right) \tag{4}$$

여기서,

T*: 점도가 무한대에 이르는 전이온도 (℃)

T : 성형온도 (℃)

A1: WLF식에서의 전위계수 (K)

*A*₂ : WLF식에서의 전위계수 (K)

- D₁ : 제로 전단률에서의 기준 점도 (Pa·s)
- D2: 제로 게이지압에서 유리전이온도 (K)
- D₃: 압력에 의한 T^{*}의 변화량 (K/Pa)

수지에 대한 온도민감도(temperature sensitivity) $T_b^{(5)}$ 는 식(5)를 사용하여 나타낼 수 있다.

$$T_b = \frac{A_1 (A_2 + D_1) \cdot T^2}{[A_2 + (T - D_2)]^2}$$
(5)

여기서, *T_b* : 온도민감도 (K) *T* : 성형온도 (K) *A*₁ : WLF식에서의 전위계수 *A*₂ : WLF식에서의 전위계수 (K) D₁ : 제로 전단률에서의 기준 점도 (Pa·s)

D2 : 제로 게이지압에서 유리전이온도 (K)

Fig. 2-2-3은 각 수지별 온도민감도의 분포를 나타낸 그림이다⁴¹⁾.



Fig. 2-2-3 Temperature sensitivity of various polymers

2.2.2 다수 캐비티 사출금형에서의 충전 불균형

다수 캐비티 금형에서 각 캐비티의 충전이 동시에 이루어지면 사출성형시 성형조건 제한에 대한 영향을 적게 받을 수 있고, 한번의 성형사이클 동안 양질의 제품을 생산할 수 있는 가능성이 커져 이익을 극대화할 수 있다.

다수 캐비티 금형을 사용하는 이유는 한번의 성형으로 동일한 제품을 여러 개 생산하기 위해서이다. 그러나 금형의 치수와 냉각 속도를 동일하게 하는 것은 그렇게 쉽지 않다. 다수 캐비티 금형에서 동일한 제품을 얻기 위해서는 각 캐비티로 유입되는 수지의 상태를 동일하게 하여야 한다. 그러나 일반적으로 사용되고 있는 대칭배열의 러너구조를 이용하더라도 각 캐비티에서의 수지의 유동상태, 온도, 물성 밸런스 등에는 많은 차이가 발생하게 되어, 실제 각 캐비티 사이에서는 충전 불균형 현상이 일어나게 된다. Fig. 2-2-4(A-E)는 캐비티에 먼저 충전되는 영역(음영처리 영역)을 설명하는 러너배열의 예를 보여주고 있다.



Fig. 2-2-4 Filling imbalances in multi-cavity injection mold

2.2.3 기하학적 불균형 러너시스템

불균형 러너시스템에서는 러너 직경의 크기를 조절하는 하드웨어 적인 방법과 성형인자중의 하나인 사출속도를 제어하는 소프트웨어 적인 방법에 의해 충전패턴(filling pattern)을 달리 취할 수 있다. Fig. 2-2-5의 (a)와 같이 사출속도가 빠를 경우 스프루에 가까운 캐비티가 먼저 충전되는 반면, (b)와 같이 늦은 사출속도에서의 용융수지의 선단은 러너보다 상대적으로 작은 단면적을 가지는 게이트 입구에서 정체를 일으키며 용융수지는 러너의 체적을 우선 적으로 충전시키게 된다.



(b) Low injection speed

Fig. 2-2-5 Filling pattern accoding to injection speed

2.2.4 기하학적 균형 러너시스템

다수 캐비티 사출금형에서 균형 러너시스템은 일반적으로 양측 분기형 러너시스템과 편측 분기형 러너시스템으로 나뉘며, 이들 두 가지 러너시스템의 내측 캐비티와 외측 캐비티는 기하학적으로 균 형을 이루고 있으나 실제 사출공정시 캐비티 간에 충전 불균형이 일어나게 되며, 그 원인은 다음과 같다.

(1) 양측 분기형 러너시스텀에서의 충전 불균형

Fig. 2-2-6에서 보는 것과 같이 러너 내부의 전단률 분포는 1차 러너(primary runner)에서는 높은 전단영역이 러너 외경부에 형성 되고 낮은 전단영역은 러너 중심부에 위치하여 대칭적으로 나타난다 (A-A'단면). 그러나 2차 러너(secondary runner)에서의 전단률 분포는 1차 러너의 높은 전단영역의 영향으로 높은 전단영역이 스프루(sprue)에서 가까운 내측에 위치하고, 낮은 전단영역이 스프 루에서 먼 외측에 위치하여 비대칭적으로 전단률이 분포된다(B-B' 단면). 이러한 이유로 전단 감소현상에 의해 2차 러너의 점도분포는 내측부가 점도가 낮아지게 되어 유동성이 증가하게 된다.

충전 불균형 현상은 Fig. 2-2-7에서 보는 것과 같이 러너의 분기가 2회 이상 발생되는 경우 러너 중심부의 전단률과 러너 벽면의 전단률 차이에 의해 발생된다. 러너 벽면 영역에서 전단률이 가장 높고, 수지의 비뉴턴(non-Newtonian) 특성과 마찰열에 의해서 점도가 낮아지게 되어 수지의 유동은 러너 중심부 보다 더욱 빨라지게 된다. 이런 상태로 1차 분기된 수지의 유동은 2차 러너의 좌측 및 우측의 흐름 특성을 변화시켜 캐비티 간 충전 불균형을 일으키게 된다42-44).



Fig. 2-2-6 Different shear rate between primary runner and secondary runner



Fig. 2-2-7 Filling imbalance in binary branch type runner

(2) 편측 분기형 러너시스텀에서의 충전 불균형

편측 분기형 러너(unary branch type runner)에서의 충전 불균형 역시 양측 분기형 러너에서와 같이 주 러너 벽면 고화층과 접하고 흐르는 수지는 중심부의 수지보다 더 뜨거운 수지상태가 된다. 그 러나 양측 분기와 달리 편측 분기에서는 Fig. 2-2-8에서 보는 것과 같이 90° 방향전환이 이루어지는 콜드 슬러그 웰 (cold slug well) 형상의 groove corner부에서 상대적으로 고온의 수지유동과 저온의 수지유동의 근접에 의해 영향을 받은 중간 유동(medial flow)이 발생한다. 이런 이유로 러너 외측의 흐름은 간섭 없이 흐르는 내측의 유동보다 저온의 저속유동이 발생하게 된다. 그 결과 수지는 외측 캐비티 보다 내측 캐비티에 먼저 채워져 충전 불균형을 일으키게 된다.



Fig. 2-2-8 Filling imbalance in unary branch type runner

2.3 사출성형해석 CAE와 충전 불균형

그 동안 사출성형해석 CAE 소프트웨어에서는 러너 멧성(runner meshing)의 용이성을 위해 1차원 빔 엘리먼트(beam element)를 사용하여 왔다. 이러한 이유로 실제 러너 내부를 흐르는 용융 수지의 전단률에 기인한 흐름속도의 차이를 정의할 수 없었다. 그 결과 사출유동 해석상에서 같은 유동거리의 러너를 가진 캐비티에서는 실제 사출성형공정에서 발생하는 충전 불균형 현상을 사출성형해석 에서 표현하기가 힘들었다. 이러한 이유로 러너의 3차원 메쉬가 가능하며 비대칭 전단의 효과가 반영된 3D 사출성형해석 CAE용 소프트웨어의 개발이 요구되어 왔다. 최근 3D 메쉬(tetra mesh) 툴을 가진 사출성형해석 CAE 소프트웨어가 개발되어 보급되면서 과거에는 구현되지 못했던 충전 불균형 현상의 일부를 구현할 수 있으며, 보다 정밀한 해석을 가능케 하고 있다.

본 연구에서는 균형 러너시스템 중 양측 분기형 러너시스템의 8 캐비티 금형에서 실제 충전 불균형 현상을 나타낼 수 있는지를 알아보기 위해 러너부에 3차원 메쉬를 적용하여 성형해석을 수행 하였다. 사출성형해석에 사용된 프로그램은 Moldflow MPI 6.1이다. Fig. 2-3-1은 모델링된 메쉬 형상을 나타내고 있으며, 실험대상 수지는 미국 GE Plastics 사의 PC(Lexan 1330)수지를 사용하였다. 기본적인 사출성형조건은 Moldflow MPI 프로그램의 추천조건을 사용하였다. 사출성형기는 LG기계에서 제작한 형체력 140톤 직압식 사출기⁴⁵⁾를 선정하여 충전해석 중에 발생하는 충전 불균형 현상을



Fig. 2-3-1 Mesh models for binary branch runner system

Fig. 2-3-2는 캐비티 간 충전시간을 나타낸 것으로 내측 캐비티가 외측 캐비티 보다 먼저 충전됨을 볼 수 있다. Fig. 2-3-3은 양측 분기형 러너에서 충전 시 러너 및 캐비티 내의 유동선단의 온도분포를 나타낸 것이다. 1, 2차 러너 분기 후 스프루에서 가까운 내측 캐비티 러너부 온도는 275.3℃, 외측 캐비티 러너부 온도는 273.8℃로 내측 캐비티 러너부의 온도가 약 1.5℃ 더 높은 것을 볼 수 있다. 성형 해석 결과 CAE 소프트웨어 상에서 양측 분기형 러너시스템에서 충전 불균형 현상의 구현이 유동선단의 온도차이로 부분적으로 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 2-3-3 Temperature at flow front in CAE analysis

2.4 사출성형품의 성형품질

2.4.1 광택도

플라스틱 성형품의 광택도는 우선적으로 캐비티 표면의 질에 의해 크게 영향을 받는다. 또한 성형중 수지온도, 금형온도, 보압 및 사출압력 등의 성형조건에 따라서도 영향을 받게 된다.

광택도는 성형품의 표면 질을 나타내는 ASTM D 2457 표준 방법을 이용하여 측정할 수 있다. 광택도계(glossmeter)⁴⁶⁾는 Fig. 2-4-1에 나타나 있는 것과 같이 광원과 광검출기(photometer)로 구성되어 있다. 이런 종류의 광택계를 측각 광검출기(goniophotometer)라 부른다. 시편에 빛을 입사각 α로 쪼이게 되면 광검출기에서는 반사각 β를 변화시키면서 시편으로부터 반사되는 빛의 세기를 읽게 된다. 일반 적으로 시편이 고광택이면 20°, 중간이면 45°, 낮은 광택이면 60°로 측정된다.



Fig. 2-4-1 The principle of glossmeter

2.4.2 성형 수축률

성형품을 금형으로부터 빼내 상온까지 냉각시키면 수축이 생긴다. 형 열림 후 24시간 이내에 발생하는 수축을 성형수축, 그 후에 발생 하는 수축을 후수축(post shrinkage)이라고 한다. 성형수축은 크게 체적수축(volumetric shrinkage)과 선형수축(liner shrinkage)으로 나누는데, 용융된 수지가 고화될 때 체적이 줄어들어 수축하게 되는 것을 체적수축이라 한다. 수지의 흐름방향에 따른 분자배향, 결정화, 충전제 및 강화제에 의한 영향 등에서 오는 방향성을 가지는 길이 방향의 수축을 선형수축이라 한다⁴⁷⁾. Fig. 2-4-2 (a)는 비결정성 수지의 pvT 다이어그램이며, Fig. 2-4-2 (b)는 결정성 수지의 pvT 다이어그램 이다. 성형수축의 발생원인으로서 다음과 같은 요인들이 있다.⁴⁸⁾

(1) 열적 수축

수지고유의 열팽창율에 의해 나타나는 온도변화에 따른 수축으로 성형품이 금형으로부터 빠져 나왔을 때의 금형과 수지와의 열팽창의 차이에 의해 생기는 것으로 성형 수축의 요인 중 가장 기본이 된다.

(2) 경화 및 결정화에 의한 수축

열경화성 수지는 가열하면 경화하지만, 경화반응의 진행에 따라 고분자화 하므로 체적이 수축된다. 열가소성 수지는 성형공정에서 결정화에 따라 체적수축이 일어난다.

(3) 탄성회복

용융된 수지는 수지의 종류, 충전제의 종류, 배합비율 등에 의해 수축률이 달라진다. Fig. 2-4-3은 수지온도, 사출속도, 사출압력, 보압 등의 성형조건 변화와 게이트 크기, 제품 두께 등에 따라 수축률이



(b) Semi-crystalline

Fig. 2-4-2 pvT diagrams of amorphous and semi-crystalline plastic



Fig. 2-4-3 Relationship between shrinkage and characteristic parameter

어떻게 변하는지에 대한 경향을 나타낸 그림이다⁴⁹. 성형압력에 의해 압축되고 풀릴 때 성형품이 고온이면 압축되기전 상태로 되돌아 가려고 하는 탄성회복이 일어나, 성형품의 체적은 팽창하는 쪽으로 변화되어 열적수축에 의한 성형수축의 일부를 상쇄하게 된다. 따라서 탄성회복은 압축성이 큰 수지일수록 그 경향이 크게 일어난다.

(4) 분자배향에 의한 수축

용융수지가 러너와 캐비티를 통해서 흘러감에 따라 금형벽면과 유동하고 있는 수지 사이에는 속도 차에 의해서 전단영역이 생기게 된다. 이러한 속도 차에 의한 전단력은 수지의 분자들을 주변형률 방향으로 배향시키게 된다. 탄성회복은 원래 가해진 응력의 방향으로 물질(질량)의 길이를 감소시키게 된다. 이와 같이 상대적으로 배향 성이 높은 영역에서는 다른 부위보다 수축하는 정도가 더욱 크게 된다.

비결정성 수지의 경우에는 수지가 고화되더라도 탄성회복력이 크기 때문에 높은 전단상태에서 성형이 되면 수지의 주 배향방향 즉, 수지 유동방향으로 더욱 많은 수축이 일어나게 된다. 결정성 수지의 경우는 배향성에 의한 수축은 더욱 복잡하고 예측하기 쉽지 않다. 이와 같이 수축에 의해 금형 캐비티 내에서 성형된 제품은 대부분 캐비티 치수보다는 약간 작아진다. 따라서 도면의 치수와 꼭 같이 성형품을 만들고자 하면 금형의 캐비티의 치수는 수축을 감안하여 약간 크게 만들어야 한다.

2.4.3 인장강도

플라스틱 재료의 가장 기본적인 기계적 성질을 알기 위해서는 응력-변형 곡선을 구하는 것이 가장 일반적인 방법이다. 재료에 가 하는 응력의 유형에 따라 압축(compression), 전단(shear), 굽힘 (bending) 등에 의한 응력-변형 곡선들이 있으나 본 실험에서는 인 장력(tensile force)에 의한 응력-변형 곡선을 구하였다. 플라스틱 재료의 인장 응력-변형 시험법은 KS M 3006, ASTM D 638, D882, ISO 527, BS 2782 등에 표준 규격 시험법으로 정의되어 있으나, 본 실험에서는 KS M 3006의 방식을 채택하였다. 인장시험에 사용되는 시편은 1호형~4호형으로 구분된다. 1호형 시편은 주로 경질 및 반경질(semi-rigid) 재료, 2호형 시편은 신장율이 큰 유연한 재료, 3호형 시편은 열경화성 재료, 4호형 시편은 강화 플라스틱 재료를 위한 것이다. 본 실험에서는 Fig. 2-4-4와 같이 2호형⁵⁰⁾ 시편을 채택하였다.



Fig. 2-4-4 The standard specimen

제 3 장 기하학적 불균형 러너시템에서의 충전 불균형

3.1 사출성형장치 및 실험방법

3.1.1 사출성형기 및 실험금형

Photo. 3-1은 본 연구에 사용된 사출성형기를 나타낸 것이다. 사출 성형기는 LG기계에서 제작한 형체력 140톤(모델명 IDE 140EN)의 직압식 수평형 타입이다. Table 3-1은 사출성형기의 주요 사양을 나타낸 것이다.



Photo. 3-1 Injection molding machine (140ton)

Specifications		Unit	140ton
Injection unit	Screw dimension(diameter)	mm	Ø 45
	Ideal shot size	Cm^3	320
	Injection size(ps)	g	294
	Max. injection pressure	kgf/cm²	1,550
	Max. holding pressure	MPa	80
	Injection rate	cm³/sec	206
	Plasticity capacity(ps)	kg/h	113
	Max. screw rpm	rpm	255
Clamping unit	Clamping force	ton	140
	Tie bar intervals	mm	450 × 450
	Clamping stroke	mm	450
	Max. mold plate thickness	mm	800
	Mold height	mm	190~350
	Ejecting pressure	ton	3.7
	Ejecting stroke	mm	80

Table 3-1 Specifications of injection molding machines

실험 금형은 10개 캐비티, 2매 구성형으로 주러너(primary runner)가 직경 5mm인 핀 게이트(pin gate) 금형이다. Photo. 3-2와 같이 양측 분기형과 나뭇가지형 러너시스템을 동시에 취하는 구조로 나뭇가지형 러너시스템의 실험을 위해 양측 분기형 러너 시작부를 폐쇄시켜 실험 하였다. 3.1.2절의 (6)식에서 정의한 캐비티 간 균형 충전도 값을 측정 하기 위해 Fig. 3-1-1과 같이 스프루에서 가까운 순서에 따라 1st, 2nd, 3rd 캐비티로 구분하였다.

A LH O



Photo. 3-2 Opened experimental mold



Fig. 3-1-1 Dimension of experimental mold

3.1.2 실험방법 및 시편측정

Fig. 3-1-1과 같이 불균형 러너시스템의 일반적인 충전과정은 1st 캐비티를 기준으로 2nd와 3rd 캐비티 간 다른 충전 불균형 현상을 보일 것이다. 캐비티 간 균형 충전도(DFB ; Degree of Filling Balance)를 식 (6)과 같이 정의하였다.

$$DFB = \left(\frac{W}{W_1}\right) \times 100\%$$

(6)

여기서, W_1 : 1st 캐비티에서의 성형물 중량(g)

W : 2nd 또는 3rd 캐비티에서의 성형물 중량(g)

캐비티 간 시편중량 측정을 위해 Photo. 3-3과 같이 미국 OHAUS 사의 측정범위가 0.4g~200g인 0.1g 단위의 중량계를 사용하였다.



Photo. 3-3 The weighing machine used for weight measure

3.1.3 실험재료 및 성형조건

본 연구는 불균형 러너시스템에서 성형조건에 따른 균형 충전도의 변화를 알아보기 위한 실험⁵¹⁾으로 실험재료는 열가소성 수지중 결정성 수지인 PP와 비결성 수지인 ABS를 사용하였다.

성형변수는 Table 3-2와 같이 사출속도(Injection speed), 사출압력 (injection pressure), 수지온도(melt temperature)로 하고, 5단계로 변화를 주어 실시하였다. 사출속도는 11㎡/sec에서 31㎡/sec까지 5㎡ /sec 씩 변화를 주었고, 사출압력은 46MPa에서 62MPa까지 4MPa 씩 변화를 주었다. 수지마다 최적의 성형조건을 고려하여 수지온도와 금형온도를 수지별 적정 용융온도로 선정하였고, 수지온도는 5℃씩 5 단계로 변화를 주었다. 또한, 균형 충전도 값을 구하기 위해 숏트 샷 (short shot) 성형을 실시하였다.

Processing conditions	Unit	PP	ABS
Injection speed	cm³/sec	11, 16, 21, 26, 31	
Injection pressure	MPa	46, 50, 54, 58, 62	
Melt temperature	°C	190~210	210~230
Mold temperature	°C	40	60
Injection time	sec	1.5	
Cooling time	sec	15	
Total cycle time	sec	20	
Resin dry	°C (hr)	60(3)	80(3)

Table 3-2 Injection molding conditions for experiment

3.2 실험결과 및 고찰

3.2.1 사출압력에 따른 균형 충전도

사출압력 증가에 따라 충전 초기부터 충전 완료단계까지의 충전 과정을 Photo. 3-4의 (a), (b)와 같이 관찰할 수 있었으며, 수지온도와 사출속도에 비해 사출압력의 증가에 따라 균형 충전도가 가장 뚜렷 하게 증가되는 경향을 보였다.



(b) ABS

Photo. 3-4 Molding according to injection pressure

Fig. 3-2-1은 사출압력에 따른 수지별 DFB 값의 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 3-2-1 (a)에서 PP 수지는 사출압력이 46MPa에서 62MPa 까지 증가하는 동안 DFB 값은 2nd 캐비티는 81%, 3rd 캐비티는 96%, Fig. 3-2-1 (b)의 ABS 수지는 2nd 캐비티 97%, 3rd 캐비티는 DFB 값이 100% 까지 증가 되었다. 그리고, PP 및 ABS 수지 모두 2nd 캐비티는 사출압력 50MPa에서, 3rd 캐비티는 사출압력 54MPa을 기점으로 급격히 DFB 값이 증가되는 것을 알 수 있다. 결과적으로 스프루에 가까운 2nd 캐비티가 충전 완료단계 일 때 3rd 캐비티는 충전 초기단계에 이른다는 것을 알 수 있다. 이러한 DFB 값의 급격한 변화는 성형품의 품질에 좋지 않은 영향을 가져올 수 있으며, 캐비티 간 기계적인 물성치를 변화시키게 될 것이다.

3.2.2 수지온도에 따른 균형 충전도

Fig. 3-2-2는 수지온도에 따른 수지별 DFB 값의 변화를 나타낸 그래프이다. 수지온도 증가에 따라 각 수지별 균형 충전도는 증가 되었다. Fig. 3-2-2 (a)의 PP 수지는 수지온도가 190℃~210℃까지 증가하는 동안 2nd 캐비티는 55%, 3rd 캐비티 39%, Fig. 3-2-2 (b)의 ABS 수지는 2nd 캐비티 60%, 3rd 캐비티는 DFB 값이 16% 까지 증가되었다. 또한 2nd 캐비티와 3rd 캐비티 사이의 DFB 값의 증가는 PP 수지보다 ABS 수지가 더 크게 나타났다. 결과적으로 수지온도는 사출압력 보다 DFB 값의 증가폭이 작고, 사출압력이 수지온도 보다 DFB 값에 더 큰 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다.



(b) ABS

Fig. 3-2-1 DFB according to injection pressure



(b) ABS

Fig. 3-2-2 DFB according to melt temperature

3.2.3 사출속도에 따른 균형 충전도

Fig. 3-2-3은 사출속도에 따른 수지별 DFB 값의 변화를 나타낸 그래프이다. 사출속도 증가에 따라 각 수지별 균형 충전도는 역시 증가되는 경향을 보였다. Fig. 3-2-3 (a)의 PP수지는 사출속도가 11㎡/sec에서 31㎡/sec까지 증가하는 동안 2nd 캐비티 31%, 3rd 캐 비티는 6%의 DFB 값이 증가되었고, Fig. 3-2-3 (b)의 ABS 수지는 2nd 캐비티는 40%, 3rd 캐비티 4%의 DFB 값이 증가 되었다. 이러한 결과는 PP, ABS 수지의 2nd 캐비티가 빠르게 충전되는 동안 3rd 캐비티는 상대적으로 느리게 충전이 이루어지며 스프루에 가까운 1st, 2nd, 3rd 캐비티 순으로 충전됨을 보여준다.

수지온도 변화와 유사한 결과를 보였지만 사출속도에 의한 DFB 값의 증가폭이 더 작게 나타났다. 따라서 DFB 값에 영향을 미치는 인자는 사출압력, 수지온도, 사출속도 순으로 나타났다.



(b) ABS

Fig. 3-2-3 DFB according to injection speed

3.2.4 사출성형 CAE 해석

본 연구의 사출성형 실험에서는 기존의 이론과 같이 사출속도에 따른 충전패턴의 변화가 일어나지 않았다. 이러한 결과는 충전 불 균형 현상의 다른 인자인 러너 및 게이트의 크기, 캐비티의 체적, 배열간격, 수량 등의 영향으로 판단되며, 나뭇가지형 러너시스템에서 하드웨어적인 제어방법의 하나인 러너의 직경을 변화시켜 충전과정을 사출성형해석을 통해 알아 보았다.

Fig. 3-2-4는 사출성형해석 소프트웨어인 MoldFlowTM를 이용하여 러너 직경을 D=5mm와 D=8mm의 2종류로 구분하여 모델링한 3D 메쉬 형상을 나타내고 있다.

Fig. 3-2-5는 러너 직경에 따른 성형해석 결과를 나타낸 것으로 Fig. 3-2-5의 (a)와 같이 D=5mm 일 때 스프루에 가까운 캐비티 부터 먼 캐비티까지 순차적으로 충전이 이루어져 실제 사출성형 실험과 같은 결과를 보였다. 그러나, Fig. 3-2-5의 (b)와 같이 D=8mm 일 때는 스프루에서 먼 캐비티부터 충전이 이루어져 러너 직경에 따라 반대의 해석결과를 나타내었다. 이러한 원인은 러너의 직경이 크면 러너는 매니폴드(manifold)와 같은 기능을 하게 되어 캐비티의 충전을 빠르게 하고 캐비티 간의 압력강하에 대한 변동을 최소화 한다. 또한, 스프루에서 가장 가까운 게이트에 먼저 도착한 용융수지는 유동정체(hesitation) 현상을 일으켜 스프루에서 먼 캐비티 부터 충전이 이루어지게 된다. 반대로 러너의 직경이 작을 경우 러너 내의 유동저항이 상대적으로 커져 수지압력이 상승하여 충전시 스프루에 가까운 캐비티에 먼저 강제로 주입하게 된다.



Fig. 3-2-4 Mesh models for various runner diameter



Fig. 3-2-5 Filling imbalances in flow analysis

제 4 장 기하학적 균형 러너시스템에서의 충전 불균형

4.1 실험장치 및 실험방법

4.1.1 사출성형기 및 실험금형

본 연구에 사용된 사출성형기는 LG기계에서 제작한 형체력 140톤의 직압식 수평형 타입이다. Photo. 4-1과 Photo. 4-2는 각각 조립상태와 분해된 상태의 실험용 금형을 나타낸 것으로 몰드 베이스는 제산 정공사(주)에서 제작한 JS07080715를 사용하였고, 몰드 베이스 재료는 S55C 이다. 금형 크기는 350×300×230mm이며, 금형의 게이트는 팬 게이트(fan gate)⁵²⁾형식으로 편측 분기형 다수 캐비티를 갖춘 2매 구성형 금형이다. 또한 리너의 90° 방향전환부가 콜드 슬러그 웰(cold slug well) 형상인 groove corner와 직각형상인 sharp corner를 동시에 취할 수 있는 구조로 가변형 러너코어를 가지는 금형을 고안하여 제작하였다. 본 금형에서 groove corner와 sharp corner 효과에 대한 실험이 가능하도록 가변형 러너코어는 90° 방향전환이 이루어지는 러너의 첫 번째 코너부와 두 번째 코너부에 위치하고 있다. Photo. 4-3은 금형내부에서 수지흐름의 경로를 나타내고, 가변형 러너코어와 캐비티의 확대 사진을 보여주고 있다.



Photo. 4-1 Experimental injection mold assembly



Photo. 4-2 Opened experimental mold



Photo. 4-3 Detailed runner core and cavity

4.1.2 실험방법 및 시편측정

본 실험에서는 최근 부경대학교 기계공학부 정밀성형실험실에 의해 발표된 groove corner 효과와 Beaumont와 McKee and Hoover에 의해 발표된 러너의 sharp corner 효과에 대하여 비교 분석하기 위해 Fig. 4-1-1과 같이 가변형 러너코어를 적용하여 러너 형상을 3가지로 준비하였다. Fig. 4-1-1의 (a)는 1차, 2차 방향전환부가 groove corner 형상이고, (b)는 sharp corner 형상이며, (c)는 1차 방향전환부가 groove corner 형상이고, 2차 방향전환부는 sharp corner 형상으로 2가지 형상이 혼합된 새로운 러너 시스템을 보여주고 있다.



Photo. 4-4 Experimental specimen
Photo. 4-4는 성형된 실험용 시편의 사진을 보여주고 있다. 캐비티 사이에서 발생하는 충전 불균형 현상을 정량적으로 나타내기 위해 스프루에서 가까운 캐비티를 내측 캐비티(inner cavity), 먼 캐비티를 외측 캐비티(outer cavity)로 정의하였다. 또한, 캐비티 간 균형 충전도 값을 나타내기 위해 외측 캐비티의 성형물 중량(g)을 3.1.2절의 (6)식 과 같이 W 내측 캐비티의 성형물 중량(g)을 W₁으로 간주하여 DFB 값을 측정하였다.

4.1.3 실험재료 및 성형조건

본 연구에서는 Table 4-1과 같이 열가소성 수지 중 결정성 수지인 GS Caltex사의 PP(polypropylene)와 Ultramid사의 PA6(polyamide), 비결정성 수지인 BASF사의 ABS(acrionitrile butadiene styrene), BE사의 PC(polycarbonate)를 실험 재료로 각각 사용하였으며 실험에 사용된 수지의 물성치는 Table 4-2와 Table 4-3과 같다.

Materials		Model	Maker
aomianuatallina	PP	M540	GS Caltex
semicrystannie	PA6	8202B	Ultramid
omorphous	ABS	GP22	BASF
amorphous	PC	Lexan1330	BE

Table 4-1 Experimental materials

	T T:4	Test	PP	PA6
Physical properties	Unit	Method	M540	8202B
Tensile Strength	MPa	ISO527	33	45
Flexural Modulus	MPa	ISO178	1,450	2,000
Rockwell Hardness	MPa	ISO2039-1	71	70
IZOD Impact Strength (Notched 23℃)	KJ/m²	ISO179	13	9.0
Specific Gravity	g/cm³	ISO1183	0.91	1.13
Melting temperature	C	ISO3146-C	200	230
Heat Distortion Temperature (18.6kg Load)	C	ISO75	95	160
Rate of Molding Shrinkage	%	DIN16901	1.0~2.5	0.3~0.8
Flammability	-	UL-94	HB	HB

Table 4-2 Physical properties of PP and PA6

	T T:4	Test	ABS	PC
Physical properties	Unit	Method	GP22	LEXAN1330
Tensile Strength	MPa	ISO527	41	65
Flexural Modulus	MPa	ISO178	2,100	2,300
Rockwell Hardness	MPa	ISO2039-1	84	110
IZOD Impact Strength (Notched 23°C)	KJ/m²	ISO179	37	30
Specific Gravity	g/cm³	ISO1183	1.04	1.20
Melting temperature	C	ISO3146-C	220	280
Heat Distortion Temperature (18.6kg Load)	C	ISO75	97	137
Rate of Molding Shrinkage	%	DIN16901	0.4~0.7	0.1~0.15
Flammability	_	UL-94	HB	HB

Table 4-3 Physical properties of ABS and PC

_

본 연구는 3가지 편측 분기형 러너시스템에서 러너 코너형상과 성형조건에 따른 균형 충전도의 변화를 알아보기 위한 실험으로 성형 변수는 Table 4-4와 같이 사출속도 변화에 따른 실험에서는 11cm/sec 에서 31cm/sec까지 5cm/sec 씩 변화를 주었고, 고정 사출속도는 21cm/sec 로 하였다. 사출압력은 최대 사출압력의 50%인 54MPa로 하였고, 수지 마다 최적의 성형조건을 고려하여 수지온도와 금형온도를 수지별 적정 용융온도로 선정하였다. 또한, 균형 충전도 값을 구하기 위해 숏트 샷 (short shot) 성형을 실시하였다.

Table 4-4	Injection	molding	conditions	for	experiment
-----------	-----------	---------	------------	-----	------------

Processing conditions	Unit	PP	PA6	ABS	PC	
Injection speed	cm³/sec	11, 16, (21), 26, 31				
Injection pressure	MPa	54				
Melt temperature	°C	200	230	220	280	
Mold temperature	°C	40	60	60	80	
Injection time	sec	1.5				
Cooling time	sec	15				
Total cycle time	sec	20				
Resin dry	°C (hr)	60(3) 80(3) 80(3) 120(3)				

4.2 실험결과 및 고찰

4.2.1 러너 코너형상에 따른 균형 충전도

본 연구에서는 실제 사출성형 실험전 Moldflow MPI 6.1을 이용 하여 편측 분기형 러너시스템에서 충전 불균형 현상이 나타나는지에 대하여 성형해석을 수행하였으며, 러너부의 메쉬 타입을 3D 메쉬 (tetra mesh type)로 하였다. Fig. 4-2-1의 (a), (b), (c)는 모델링된 3종류의 메쉬 형상을 나타내고 있으며, 실험 수지는 4가지 수지중 PC(Lexan 1330) 수지를 적용하였다. 기본적인 사출성형조건은 Moldflow MPI 소프트웨어의 추천조건을 사용하였으며, 사출성형기 는 LG기계의 140톤 직압식 사출기를 선정하여 충전해석 중에 발생 하는 충전 불균형 현상을 관찰하였다.

해석결과는 Fig. 4-2-2에서 나타내고 있듯이 충전시간(fill time)이 러너 코너형상에 따라 달라지는 것으로 해석되었다. Fig. 4-2-2 (a)의 groove corner와 Fig. 4-2-2 (b)의 sharp corner의 경우 내측 캐비 티가 먼저 충전이 되었고, sharp corner가 groove corner에 비해 더 많은 충전 불균형이 일어나는 것으로 해석되었다. groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 Fig. 4-2-2 (c)의 경우 외관상 외측 캐비티쪽으로 약간 더 충전이 이루어지고 있으나 단일 형상을 취하는 Fig. 4-2-2의 (a)나 (b)에 비해 상대적으로 균형잡힌 충전이 이루어 졌다.



Fig. 4-2-1 Mesh models for various runner corner shapes



Fig. 4-2-2 Fill time for various runner corner shapes

Fig. 4-2-3에서는 러너 코너형상에 따라 해석된 용융수지의 온도 분포를 색상을 통해 나타내고 있다. Fig. 4-2-3의 (a), (b), (c) 모든 경우에서 러너의 1차 방향 전환부의 온도분포는 내측 캐비티 방향의 러너 벽면에서 높은 온도를 나타내었다. 러너 벽면 간 온도편차는 (a) 1.6℃, (b) 2.1℃, (c) 2.4℃로 측정되었으며, (a), (c)의 경우 1차 방향 전환부의 러너 코너형상이 같은 groove corner 임에도 (c)에서 더 큰 온도차이를 나타내었다. 1차 방향 전환부의 러너 코너형상이 sharp corner인 (b)의 경우 groove corner 일 때와 같이 내측 캐비티 방향의 러너 벽면에서 높은 온도가 나타나는 것으로 해석되었다. 2차 방향 전환부의 온도편차는 내측 캐비티 방향의 러너 벽면에서



Fig. 4-2-3 Temperature distribution for various runner corner shapes

높은 온도를 나타내었다. 러너 벽면 간 온도편차는 (b)의 경우 2.2℃로 가장 컸으며, (a)의 경우 1.1℃로 해석되었다. 그러나, groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 (c)의 경우 0.2℃로 가장 작은 온도편차를 나타내었다. 이러한 Fig. 4-2-3의 해석결과를 통해 러너 벽면에서 일어나는 온도편차가 Fig. 4-2-2의 충전시간에 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 캐비티와 가장 가까운 2차 방향 전환부의 온도편차가 가장 큰 sharp corner에서는 충전 불균형이 가장 크게 나타났고, groove corner에서는 sharp corner 일 때 보다는 상대적으로 작은 충전 불균형을 일으켰다. groove corner와 sharp corner를 동시에 취했을 때는 가장 작은 온도편차를 나타내어 육안으로는 충전 불균형을 확인할 수가 없었다.

성형해석 이후 실제 사출성형으로 실험한 결과 Photo. 4-5에서와 같이 러너 코너형상별로 균형 충전도가 다르게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. Photo. 4-5 (a)의 경우 러너가 groove corner 형상으로 성형해석 결과와 같이 내측 캐비티가 먼저 충전되었고, Photo. 4-5 (b)의 sharp corner에서는 성형해석과는 반대로 외측 캐비티가 먼저 충전되었다. Photo. 4-5 (c)의 경우 성형해석 결과와 같이 (a)와 (b)에 비해 균형 충전도 변화가 상대적으로 작게 나타났다.

Fig. 4-2-4는 러너 코너형상별 균형 충전도를 수지별로 나타낸 그래프로 DFB 값이 100% 일 때 완전한 균형 충전을 의미하며, 100% 보다 작은 값은 내측 캐비티가 먼저 충전되며, 100%보다 큰 값은 외측 캐비티가 먼저 충전됨을 의미한다.



(a) Runner with
groove type(b) Runner with
sharp type(c) New balanced
runner

Photo. 4-5 Filling imbalance according to runner corner shapes



Fig. 4-2-4 Various polymer's DFB according to runner corner shapes

결정성 수지인 PA6의 경우 groove corner 일 때 91%, sharp corner 일 때 109%로 러너 코너형상에 따라 최대 18%의 차이를 나타내었으며, PP의 경우 각각 95%, 105%로 약 10%의 차이를 나타 내어 결정성 수지의 경우 PA6가 PP보다 더 큰 DFB 차이값을 가지는 것으로 나타났다. 비결정성 수지인 PC의 경우 groove corner 일 때 75%, sharp corner 일 때 124%로 약 49%의 많은 차이를 나타내었고, ABS의 경우 각각 88%, 113%로 약 25%의 차이를 나타내어 비결정성 수지의 경우 PC가 ABS 보다 더 큰 DFB의 차이가 있는 것으로 나타 났다. 결과적으로 groove corner와 sharp corner 일 때 DFB 값의 차이는 PP, PA6, ABS, PC 순으로 작게 나타났다. 이러한 결과는 각 수지가 가지고 있는 고유의 물성치인 온도 먼감도(temperature sensitivity)⁵³⁾ 와의 관계를 통해 설명할 수 있으며, 이는 온도 먼감도(Fig. 2-2-3 참조) 가 큰 수지 일수록 유동 중에 발생하는 전단률에 기인한 온도의 변동이 점도 변화에 민감하게 작용하기 때문이다. 따라서, DFB 값의 차이가 작다는 것은 양호한 DFB 값을 의미한다.

러너 코너형상에 따라 온도 민감도와 DFB 값은 반대의 관계를 나타낸다. 그 원인은 러너 코너형상에 따라 캐비티 간 충전의 순서가 반대로 일어나기 때문이다. 내측 캐비티에서 먼저 충전이 일어나는 groove corner 일 때 온도 민감도는 수지의 DFB 값에 반비례 관계이며, 온도 민감도가 높은 비결정성 수지의 DFB 값은 온도 민감도가 낮은 결정성 수지에 비해 낮아지게 된다. 반대로 외측 캐비티에서 먼저 충전이 일어나는 sharp corner 일 때는 온도 민감도와 수지의 DFB 값은 비례 관계가 된다. groove corner와 sharp corner 2가지 형상을 동시에 취할 때의 DFB 값은 PP, PA6, ABS, PC 순으로 차이가 났지만 수지별 DFB 값이 98%~103% 정도로 한가지 형상만을 취하는 러너시스템과 비교해 볼 때 양호한 균형 충전도를 나타내었다. 따라서 가변형 러너코어를 적용하여 groove corner와 sharp corner를 동시에 취하게 했을 때 양호한 균형 충전도를 갖는 성형 제품을 얻을 수 있을 것으로 사료 된다.

성형해석과 실제 사출성형의 결과로 볼 때 groove corner 일 때와 groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 러너 코너형상의 경우는 결과가 일치하였으며, sharp corner 일 때는 실제 사출성형과 반대로 나타났다. 이러한 결과는 3D 유동해석 프로그램이 기학학적 으로 균형을 갖춘 편측 분기형에서도 방향이 전환되는 코너부의 형상에 따라 정확한 충전 불균형 현상을 구현할 수 없음을 나타내는 결과의 자료로서 향 후 연구로서 sharp corner에 대한 이론적 해석이 요구되며 이를 반영한 3D 사출성형해석 소프트웨어의 개발이 필요 하다고 생각된다.

4.2.2 Sharp corner의 이론적 고찰

양측 분기형 러너시스템과 편측 분기형 러너시스템 중 groove corner에 대한 이론적 고찰은 이전에 발표된 연구자료를 통하여 확인 할 수 있었으나 sharp corner에 대한 이론적인 해석은 현재까지 발표 되지 않았다. 본 논문에서는 성형해석과 실제 사출성형 실험연구를 통해 sharp corner에 대한 러너 내의 유동상태를 다음과 같이 고찰해 보았다.

Fig. 4-2-5는 편측 분기형 sharp corner의 러너 시스템으로 90° 방향전환이 이루어지는 sharp corner 이전의 용융수지 흐름은 groove corner에서의 초기유동과 같이 러너 중심부의 전단률과 러너 벽면의 전단률 차이에 의해 러너 벽면의 수지흐름이 더 빨라지게 된다. 이후 sharp corner부를 지나는 동안 수지흐름의 균형이 바뀌게 된다. Pl과 P2부의 단면적 변화로 용융수지의 밀도와 압력분포 차이에 의해 sharp corner 내측을 흐르는 유동선이 외측을 흐르는 유동선 보다 더 빠르게 흐르게 된다. sharp corner 이전의 밀도와 압력분포를 동일 조건으로 볼 때 90° 방향전환부에서 직선운동의 수지유동과 정체구역 (stagnant area)에 직접 접하는 P1부는 P2부에 비해 상대적으로 높은 전단력의 상태가 되고, 전단마찰(shear heating)로 인해 수지온도는 더욱 상승하게 될 것이다. 또한, sharp corner부의 유동정체부와 유동부 간의 경계층 형성으로 전단률이 커지게 되고, 수지온도의 상승을 더욱 가속화 시키게 될 것이다. 이러한 결과로 P1, P2부의 유동성은 달라지게 되고, 결국 P1부는 용융수지의 점도저하로 인해 sharp corner부 이후에는 외측부의 수지흐름이 더 빨라지게 되어 외측 캐비

티가 충전이 먼저 이루어 진다고 할 수 있다.



Fig. 4-2-5 Filling imbalance in sharp corner type runner

4.2.3 Groove 길이 변화에 따른 균형 충전도

본 연구에서는 편측 분기형 러너시스템 중 1차 및 2차 90° 방향 전환부가 groove corner 일 때 1차 방향전환부의 groove 길이 변화에 따라 균형 충전도가 어떤 변화를 일으키는 지에 대하여 성형해석을 수행하였다. groove의 연장길이는 러너직경 6mm를 기준으로 0.5D, 1.0D, 2.0D 3가지 길이로 변화를 주었다.

러너부는 3D 메쉬(tetra mesh type)로 모델링 하였으며, 실험 수지는 PC(Lexan 1330)를 사용하여 사출성형조건은 Moldflow MPI 6.1 프로그램의 추천조건을 사용하여 성형해석을 시행하여 충전 불균형 현상을 관찰하였다.

Fig. 4-2-6에서는 groove 길이 변화에 따라 해석된 용융수지의 온도분포를 색상을 통해 나타내고 있다. Fig. 4-2-6의 (a), (b), (c) 모두의 경우에서 groove corner 효과에 의해 러너의 1차 및 2차 방향 전환부의 온도분포가 내측 캐비티 방향의 러너 벽면에서 높은 온도 분포도를 보여주고 있지만 L=2.0D인 (c)의 경우 러너의 1차 방향 전환부에서 심한 온도편차를 나타내었다.

Fig. 4-2-7에서 나타내고 있듯이 충전시간이 groove 길이 변화에 따라 달라지는 것으로 나타났다. Fig. 4-2-7 (a)의 L=0.5D 일 때와 (b)의 L=1.0D 일 때의 충전시간 결과를 보면 비슷한 비율로 내측 캐비티가 먼저 충전되는 것을 볼 수 있다. (b)의 L=2.0D 일 때에도 내측 캐비티에서 충전이 먼저 이루어지지만 L=0.5D와 L=1.0D 일 때와 비교하면 균형 충전도가 가장 양호한 것으로 나타났다. 결과 적으로 L=2.0D 일 때 러너의 1차 방향 전환부에서 심한 온도의 편차를 나타내었음에도 균형 충전도는 가장 양호하게 나타나는 것으로 해석되었다.



Fig. 4-2-6 Temperature distribution according to groove length



Fig. 4-2-7 Fill time for various groove length

성형해석 이후 실제 사출성형 실험을 실행하기 위해 Fig. 4-2-8과 같이 러너의 1차 방향 전환부에 groove 길이 변화가 가능한 러너 코어를 제작하여 실험을 실시하였다.



실험 결과 Photo. 4-6에서와 같이 groove 길이에 따라 균형 충전 도가 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. Fig. 4-2-9에서는 수지별 groove 길이에 따른 DFB 값을 수치적으로 나타낸 그래프이다. 수지 별로는 PP, PA6, ABS, PC 수지 순으로 균형 충전도가 높았으며, groove 길이가 작은 L=0.5D, L=1.0D, L=2.0D의 순으로 높은 균형 충전도를 나타내었다. PP수지의 경우 groove 길이가 L=0.5D에서 L=2.0D로 길어지면서 약 2.9%의 DFB 값이 향상되었으며, PA6 수지 6.1%, ABS 수지 5.1%, PC 수지 5.7%의 DFB 값이 향상되었다. 성형 해석과 비교해 볼 때 L=1.0D의 경우 비슷한 결과를 보였으며, L=0.5D와 L=2.0D의 경우 반대의 결과를 보였다. 성형해석에서는 groove 길이가 L=2.0D 일 때 가장 양호한 균형 충전도를 보였으나 실제 사출성형에서는 L=0.5D 일 때 가장 양호한 균형 충전도를 나타 내었다. 이러한 결과는 groove 길이가 작아질수록 sharp corner의 형상에 가깝게 되며, sharp corner의 이론에 의하면 groove corner 효과와는 반대의 유동흐름이 일어나게 된다. L=0.5D의 경우 러너의 1차 방향 전환부에서 groove corner 효과가 약해지면서 L=1.0D 및 L=2.0D 보다 상대적으로 양호한 균형 충전도를 가진다고 할 수 있다.



(a) L=0.5D (b) L=1.0D (c) L=2.0D

Photo. 4-6 Filling imbalance according to groove length



Fig. 4–2–9 Various polymer's DFB according to groove length

4.2.4 사출속도 변화에 따른 균형 충전도

본 실험에서는 4.1절의 Fig. 4-1-1과 같이 러너 코너형상이 다른 3가지 러너시스템에서 수지별 사출속도 변화에 따른 균형 충전도에 관해 분석하였다.

Fig. 4-2-10과 같이 groove corner 일 때 사출속도의 증가에 따라 DFB 값은 감소하였고, Fig. 4-2-11과 같이 sharp corner 일 때는 증가하는 경향을 보였다. 이러한 원인은 사출속도의 증가에 따라 groove corner 효과와 sharp corner 효과에 의해 러너의 내측 및 외측 벽면간의 전단률 차이가 더욱 커져 양호하지 못한 균형 충전 도를 보이는 것으로 생각된다. 사출속도 26cm/sec, 31cm/sec에서는 비슷한 DFB 값을 나타내었는데 Fig. 4-2-13에서와 같이 일반적으로 수지는 사출속도를 증가시키면 점도는 높은 전단률에 의해 감소하는 경향을 보이다가 일정 구간부터는 전단률에 관계없이 일정한 점도 값을 보이게 된다. 그러므로 불균일한 전단 분포에 기인하는 균형 충전에서 사출속도를 더욱 빠르게 하는 것은 대상수지의 점도를 일정하게 하는 영역으로 유도할 수 있으므로, 결과적으로 사출속도 26cm/sec를 기점으로 비슷한 DFB 값을 나타내었다고 생각된다. 또한, 각 수지의 온도 민감도에 따라 결정성 수지(PP, PA6)가 비결정성 수지(ABS, PC)에 비해 DFB가 양호함을 알 수 있다. groove corner 와 sharp corner 일 때 DFB 값은 실험에 사용된 수지 중에서 PP가 모든 러너 형상에서 사출속도 변화에 따라 DFB 값이 94%에서 105% 범위로 가장 좋은 균형 충전도를 나타내었으며, PP 다음으로는 PA6는 88%에서 110%로 비교적 좋은 DFB 값을 나타내었고. ABS의

경우 86%에서 115%, PC의 경우 71%에서 127%의 DFB 값을 나타 내었다.

Fig. 4-2-12에서 나타내고 있듯이 groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 러너 형상일 때 사출속도와는 큰 영향 없이 groove corner 효과와 sharp corner 효과에 의해 100%에 가까운 양호한 DFB 값을 나타내었다.



Fig. 4-2-10 Various polymer's DFB according to injection speed in groove corner



Fig. 4-2-12 Various polymer's DFB according to injection speed in balanced runner



4.3 가변형 러너코어를 적용한 사례 연구

본 실험은 실전 사례연구로 Photo. 4-7과 같이 sharp corner와 groove corner를 동시에 취하는 러너시스템을 갖는 포크(fork) 금형을 대상으로 하여 실제 사출성형을 통하여 그 실효성을 검증하고자 하였다.



Photo. 4-7 Detailed runner system and cavity shapes

4.3.1 사출성형장치 및 실험방법

본 실험은 LG기계의 140톤 직압식 사출성형기를 사용하였다. 실험금형은 4.1절에서 사용된 편측 분기형 다수 캐비티를 갖춘 2매 구성형 금형에 포크 형상의 캐비티 코어를 적용하였다. 실험에 사용된 재료는 GS Caltex사의 PP(M540) 수지와 LG Chemical사의 붉은색상의 안료가 첨가된 ABS(HG-173) 수지를 사용하였다. 실험 방법은 캐비티에 강제로 미성형을 시켰을 때 성형품의 무게를 측정 하여 DFB 값을 측정하였다. 실험에 적용한 성형조건은 사출압력을 54MPa로 고정한 상태에서 사출속도를 16cm/sec에서 31cm/sec의 범위 에서 5cm/sec씩 4단계로 증가시키면서 성형하였다. 또한 수지온도는 PP 수지의 경우 190℃, 200℃, 210℃로 하고, ABS 수지는 210℃, 220℃, 230℃씩 각각 3단계로 설정하여 실험하였다. 각각의 성형 조건에 대하여 다섯 번씩 성형한 후 첫 번째와 마지막 성형품은 제외하고 나머지 3개의 성형품의 무게를 평균하여 균형 충전도의 데이터로 사용하였다.

4.3.2 실험결과 및 고찰

Photo. 4-8은 사출속도에 따라 사출성형된 시편을 보여주고 있다.



Photo. 4-8 Molding according to injection speed

육안상으로는 사출속도 증가에 따라 캐비티의 충전량만 증가되고 균형 충전도의 변화는 일어나지 않는 것으로 보인다. 하지만 측정 데이터를 정리하여 나타낸 그래프에서는 수지별로 균형 충전도의 변화가 다르게 나타났다.

Fig. 4-3-1은 PP 수지의 균형 충전도를 나타낸 그래프이다. 사출 속도가 증가할수록 균형 충전도가 증가하는 경향을 보였고, 수지온도 또한 증가할수록 균형 충전도가 증가하는 경향을 나타내었다. PP 수지에서 사출속도와 수지온도가 증가하는 동안 균형 충전도는 약 2.5%의 차이를 보였다.

Fig. 4-3-2는 ABS 수지의 균형 충전도를 나타낸 그래프로 PP 수지와 같이 사출속도와 수지온도의 증가에 따라 균형 충전도가 증가하는 경향을 나타내었고, ABS 수지의 균형 충전도는 약 6%의 차이를 보였다. 결정성 수지인 PP가 비결정성 수지인 ABS 보다 균형 충전도의 차이가 약 3.5% 정도 작게 나타났고, 각 수지온도별 균형 충전도의 변동 폭도 작게 일어났다. 이와 같은 현상은 PP 수지의 온도 민감도가 ABS 수지의 온도 민감도 보다 낮기 때문이다. 이러한 결과는 선행연구의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있다.

본 실험에서는 사례 연구로서 sharp corner와 groove corner를 동시에 취하는 러너시스템을 적용한 결과 PP 수지에서는 97.5% 이상, ABS 수지에서는 94% 이상의 양호한 균형 충전도를 나타내어 그 실효성을 검증할 수 있었다.



Fig. 4-3-2 DFB according to injection speed (ABS)

4.3.3 실험계획법에 의한 성형조건의 최적화

본 실험에서는 제어 가능한 인자로써 잡음인자에 대해 강건한 설계방법인 다구찌 기법을 사용하였다. 다구찌 기법의 본래 사용 목적은 제어할 수 있는 영향력이 강한 인자를 찾아내어, 이 인자들의 영향력을 최대로 하여 잠음의 영향력을 최소로 하는 것에 있으나 본 실험에서는 인자별 영향력만 확인한 후 성형에 미치는 영향을 분석하였다. 이러한 기법에 필요한 것이 S/N비(signal to noise rate)로써, S/N비는 특성치에 따라 망목특성, 망대특성, 망소특성으로 나눌 수 있다. 본 실험에서는 영향인자에 의해 발생하는 균형 충전 도를 특성치로 선정하여, 최대화하는 방향으로 실험이 수행되었으 므로 망대특성 분석을 사용하였다. 식 (7)은 S/N비 중에서 망대 특성을 나타낸 것이다.⁵⁴⁻⁵⁶⁾

$$SN_i = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2}\right)$$

(7)

여기서 y_i:실험에서 얻은 데이터 n:실험 횟수

본 실험에 영향인자로써 적용한 성형공정조건은 사출압력, 사출 속도, 수지온도이며, 각 조건에 대한 수준은 Table 4-5에 제시되어 있다. 각 영향인자의 수준은 균형 충전도를 측정하기 위해 미충전을 얻기 위한 조건으로 설정하여 각 인자마다 고르게 분배하였다. Table 4-6은 다구찌 기법에 의해 작성된 각 성형조건들을 배치하기 위한 직교표는 L₉(3⁴) 표로 선정하여 성형조건을 할당하였으며, 식 (7)에 의해 계산된 S/N비를 나타내고 있다.

Footor	Level					
Factor	1	2	3			
A : Injection pressure(MPa)	54	54	54			
B: Injection speed(cm³/sec)	16	21	26			
C : Melt temperature($^{\circ}$ C) 210 220 230						
NATIONAL						

Table 4-5 Control factors and level

	Table. 4-6	Control	factors	of	orthogonal	table
--	------------	---------	---------	----	------------	-------

No.	A	В	C	DFB	S/N ratio
1	1		1	93.9	39.4533
2	Y	2	2	96.5	39.6905
3	12	3	3	98.6	39.8775
4	2	1	2	95.6	39.6092
5	2	2	3	97.5	39.7801
6	2	3	1	97.6	39.7890
7	3	1	3	97.2	39.7533
8	3	2	1	94.3	39.4902
9	3	3	2	98.1	39.8334

각 실험에서의 S/N비에 대한 수준별 평균값과 기여량을 구한 결과는 Table 4-7과 같다.

Source	DF	SS	MS	F	Р
А	2	0.00422	0.00211	0.38	0.727
В	2	0.08663	0.04331	7.71	0.115
С	2	0.07754	0.03877	6.9	0.127
Error	2	0.01124	0.00562		
Total	8				

Table. 4-7 Analysis of variance of S/N Ratio

Fig. 4-3-3에서 보는 바와 같이 균형 충전을 위한 최적 성형조건은 A₂, B₃, C₃, 즉, 사출압력 54MPa 일 때 사출속도 26㎝/sec, 수지온도 230℃ 임을 알 수 있다. 다구찌 실험계획법에 의해 도출된 최적 성형 조건이 4.3절의 실제 사출성형 실험에서도 가장 높은 균형 충전도를 가지는 것으로 나타났다.



Fig. 4-3-3 Main effects plot for S/N ratios

제 5 장 러너 코너 형상이 제품 품질에 미치는 영향

5.1 실험장치 및 실험방법

5.1.1 사출성형기 및 실험금형

본 실험은 LG기계의 140톤 직압식 사출성형기를 사용하였다. 광택도 및 수축률 측정용 시편성형을 위해 기존 시편금형(Photo. 4-1, Photo. 4-2, Photo. 4-3 참조)을 사용하였으며, 인장강도 측정을 위한 시편성형을 위해 Photo. 5-1과 같이 기존의 금형에 인장시편 형상의 캐비티 코어를 별도로 제작하여 인장시편을 성형하였다⁵⁷⁾. Photo. 5-2와 는 금형에서 성형한 인장시험용 시험편과 광택도 및

수축률 측정용 시험편의 외형을 나타내고 있으며, Fig. 5-1-1은 시험 편의 치수를 나타낸 것이다.



Photo. 5-1 Experimental cavity









Fig. 5-1-1 Dimensions of experimental specimen

5.1.2 실험방법 및 시편측정

Fig. 4-1-1의 (a) groove corner, (b) sharp corner, (c) New balanced runner 3가지 러너 코너형상에서 사출성형된 시편의 내측 및 외측 캐비티 간 광택도, 수축률, 인장강도를 측정하였다.

(1) 광택도 측정

성형품의 표면광택을 측정하기 위한 광택도 측정기(glossmeter)는 Photo. 5-3과 같이 ISO 2819, ASTM D 2457, JIS Z 8741 규격에 맞추어진 BYK-GARDNER사의 Micro-TRI-Glossmeter를 사용 하였다.



Photo. 5-3 The glossmeter used for gloss measure

광택도 측정은 성형품 길이방향 측면에서 15mm 떨어진 중앙 부위를 3회 측정하여 기록하였으며, 매 측정시 오차가 3%이상 차이가 나면 재 측정하여 최고치와 최저치를 제외한 나머지 3회의 측정값을 평균하여 기록하였다. 광택도 측정기의 입사각도는 60°로 투광하였 으며, Fig. 5-1-2는 시편의 투광실험 위치를 도식적으로 나타내고 있다. 광택도 측정의 수치는 측정기에서 자동 계산된 값을 사용 하였다.



Fig. 5-1-2 The gloss measuring point

(2) 수축률 측정

Photo. 5-4는 수축의 측정을 위하여 제작한 측정장치를 나타낸 것이다. 측정 장치는 다이얼 게이지를 이용하여 수지유동 방향과 수지유동 직각방향 2개소의 수축을 측정하였다. 성형품의 수축측정은 후수축을 감안하여 성형 이후 48시간 후에 실시하였다.



Photo. 5-4 Shrinkage measurement

Fig. 5-1-3은 수축측정 부위를 나타낸 것으로 수지유동 방향(L)과 성형품 말단부의 수지유동 직각방향(W)으로 정하여, 각각의 시편을 3회씩 측정하여 그 평균값을 기록하였다. 일반적으로 캐비티 내에서 성형된 제품은 대부분 캐비티 치수보다는 약간 작아진다. 따라서 도면의 치수와 꼭 같이 성형품을 만들고자 하면 금형의 캐비티의
치수는 수축을 감안하여 약간 크게 만들어야 하며, 성형수축률 *S*는 식 (8)로 정의하여 사용하고 있다.

성형수축률(S) =
$$\frac{\ell_m - \ell_a}{\ell_m} \times 100\%$$
 (8)

여기서, ℓ_m: 상온에서의 금형치수 (mm) ℓ_a: 상온에서의 성형품치수 (mm)



Fig. 5-1-3 Position for shrinkage measurement

TH OL

(3) 인장강도 측정

최대 인장강도를 측정하기 위해서 Photo. 5-5의 플라스틱용 H10KT UTM을 사용하였다. UTM(Universal Test Machine)은 인장(tensile), 압축(compression), 굴곡(flexural), 박리(peel), 접착 (adhesion)등 고분자의 기계적 물성을 시험하기 위해 만들어진 장비 이다. 실험에 사용된 UTM은 HOUNSFIELD사의 제품으로 물성 시험의 전문 프로그램인 Qmat-XT의 version 3.79를 사용하였다. Table 5-1은 인장시험기의 주요 사양을 나타낸 것이다.



Photo. 5-5 Universal testing machine

Table 5-1 Specifications of universal testing machine (H10KT, Hounsfield)

Specifications	Values
Load frame	Capacity 10kN
	Maximum crosshead travel excluding grips is 1100mm Distance between columns 405mm Frame stiffness 100kN/mm at normal load points
Extension measurement	Extension measurement by precision optical encoer single measurement range 0 to 1000mm Resolusion 0.0001mm accuracy 0.01mm/300mm
Speed control	0.001mm/min to 500mm/mm (up to 5kN) 0.001mm/min to 1000mm/min (up to 10kn)
Dimensions	Height 1575mm Width 650mm Depth 450mm
Weight	115kg

5.1.3 실험재료 및 성형조건

본 연구에서는 Table 5-2와 같이 PP, PA6, ABS, PC 수지 4종을 실험 재료로 사용하였으며, 성형조건은 사출속도, 사출압력, 보압 (holding pressure)은 동일 조건으로 하였고, 각 수지의 최적의 성형 조건을 고려하여 수지온도와 금형온도를 수지별 적정 용융온도로 선정하였다.

Processing conditions	Unit	PPO	PA6	ABS	PC	
Injection speed	cm³/sec	21				
Injection pressure	MPa					
Holding pressure	MPa	46				
Melt temperature	°C	200	230	220	280	
Mold temperature	°C	40	60	60	80	
Holding time	sec	2				
Cooling time	sec	5				
Total cycle time	sec	20				
Resin dry	°C (hr)	60(3)	80(3)	80(3)	120(3)	

Table 5-2 Injection molding conditions for experiment

5.2 실험결과 및 고찰

5.2.1 러너 코너형상에 따른 광택도 변화

실험결과 러너시스템 형상별로 결정성 수지인 PP의 경우 20~ 23(GU; Gloss Unit), PA6는 15~17(GU), 비결정성 수지인 ABS는 51~57(GU), PC는 64~73(GU) 범위의 광택도를 나타내었다.

Fig. 5-2-1은 러너형상이 groove corner 일 때의 내측 및 외측 캐비티 간 광택도를 나타낸 그래프이다. PP 수지의 경우 내측 캐비 티가 외측 캐비티 보다 6%, PA6 수지는 8% 정도 높았고, ABS 수지는 11%, PC 수지는 13% 정도 높게 나타났다.

Fig. 5-2-2는 러너형상이 sharp corner 일 때의 내측 및 외측 캐비티 간 광택도를 비교하는 그래프로 PP 수지 7%, PA6 수지 10%, ABS 수지 11%, PC 수지 13% 정도로 외측 캐비티가 내측 캐비티 보다 높은 광택도를 나타내어 groove corner 일 때와 반대의 결과를 나타내었다. Fig. 5-2-1의 groove corner 효과와 Fig. 5-2-2의 sharp corner 효과로 인해 먼저 충전이 이루어진 캐비티의 광택도가 높게 나타났다. 따라서 광택도계가 시편에 빛을 쪼여서 시편으로 부터 반사되는 빛의 세기를 측정하는 원리를 감안할 때 빛의 반사량은 같은 조건일 때 시편표면의 평면도가 양호 할수록 높은 광택도를 나타낼 것이다. 따라서 먼저 충전된 캐비티 내의 용융수지는 상대 적으로 캐비티 내에서 장시간 체류되는 효과로 인하여 금형 표면과의 양호한 접촉에 도움을 주게 되므로 표면이 매끄럽고, 냉각시 표면의 변형없이 평면도가 양호한 시편이 성형된 것으로 판단된다.



Fig. 5-2-1 Comparison of polymer's gloss in groove corner



Fig. 5-2-2 Comparison of polymer's gloss in sharp corner



Fig. 5-2-3 Comparison of polymer's gloss in balanced runner

Fig. 5-2-3은 가변형 러너코어를 적용하여 90° 방향전환이 이루어 지는 러너의 첫 번째 코너부를 groove corner로 하고, 두 번째 코너부를 sharp corner로 하였을 때 캐비티 간 광택도를 나타낸 그래프이다. PP 수지는 4%, ABS는 수지 3% 정도로 외측 캐비티가 높은 광택도를 나타내었고, PA6 수지는 4%, PC 수지는 6% 정도 내측 캐비티의 광택도가 높게 측정되었다. 결과적으로 내측 및 외측 캐비티의 충전순서가 규칙적이지는 않지만 groove corner나 sharp corner 단일형상 일 때의 결과와는 다르게 캐비티 간 광택도의 차이가 현저하게 감소됨을 알 수 있다. 이러한 원인은 groove corner 효과와 sharp corner 효과의 상호 작용에 의해 캐비티 내의 균형 충전도를 향상시켜 캐비티 간 광택도의 차이를 감소시켰다고 본다.

5.2.2 러너 코너형상에 따른 수축률 변화

PP 및 PA6와 같은 결정성 수지는 성형품의 취출후 열적수축, 상변화에 의한 수축, 취출 후의 압축이 풀림에 기인하는 체적변화, 수지의 서냉으로 인한 결정화도의 상승 등에 의한 수축률이 크게 나타나는 것이 일반적이며, 비결정성 수지인 ABS와 PC의 경우는 수축률의 변화가 미세하게 나타나는 것을 알 수 있다. 용융수지의 비체적은 냉각되면서 감소하며, 융점에서 결정이 형성될 때에 급격히 감소한다. 실제로 결정성 수지의 비체적은 비결정성 수지의 비체적 보다 작다. 결국 결정성 수지가 비결정성 수지보다 수축률이 크다는 것을 의미한다.

(1) 수지유동 방향의 수축률

Fig. 5-2-4, Fig. 5-2-5, Fig. 5-2-6은 3가지 러너 형상별로 수지 유동 방향(flow direction)의 수지별 수축률을 나타내는 그래프로 PP 수지의 경우 2.2~2.5%, PA6는 1.2~1.3%, ABS는 0.7~0.8%, PC는 0.7~0.9% 범위의 수축률을 나타내었다.

Fig. 5-2-4는 러너형상이 groove corner 일 때의 내측 및 외측 캐비티 간 수축률을 나타낸 그래프이다. PP 수지의 수축률은 내측 캐비티가 외측 캐비티 보다 10%, PA6 수지는 13%, ABS 수지는 13%, PC 수지는 18% 정도 낮았다.

Fig. 5-2-5는 러너형상이 sharp corner 일 때의 내측 및 외측 캐비티 간 수축률을 나타낸 그래프로 groove corner와는 반대로 PP 수지 8%, PA6 수지 10%, ABS 수지 11%, PC 수지 16% 정도로 외측 캐비티가 내측 캐비티의 수축률 보다 낮으며, groove corner 효과와 sharp corner 효과로 인해 먼저 충전이 이루어진 캐비티의 수축률이 작게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 5-2-6과 같이 groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 러너 형상일 때에는 PP 수지 3%, PA6 수지 4%, ABS 수지 6%, PC 수지 8% 정도로 외측 캐비티가 내측 캐비티의 수축률 보다 낮게 나타났다. 결과적으로 수지유동 방향에서는 단일 형상의 러너시스템 일 때 보다 groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 러너 시스템 일 때 수축률은 5~10% 정도 작게 나타났다.



Fig. 5-2-4 Comparison of polymer's shrinkage in groove corner (flow direction)



Fig. 5-2-5 Comparison of polymer's shrinkage in sharp corner (flow direction)



Fig. 5-2-6 Comparison of polymer's shrinkage in balanced runner (flow direction)

(2) 수지유동 직각방향의 수축률

Fig. 5-2-7, Fig. 5-2-8, Fig. 5-2-9는 3가지 러너 형상별로 수지 유동 직각방향(cross direction)의 수지별 수축률을 나타내는 그래프로 PP 수지의 경우 1.7~2.0%, PA6는 0.7~1.0%, ABS는 0.4~0.5%, PC는 0.5% 범위의 수축률을 나타내었다.

Fig. 5-2-7은 러너형상이 groove corner 일 때의 내측 및 외측 캐비티 간 수축률을 나타낸 그래프이다. PP 수지의 수축률은 내측 캐비티가 외측 캐비티 보다 5%, PA6 수지는 7%, ABS 수지는 9%, PC 수지는 13% 정도 낮았다.

Fig. 5-2-8은 러너형상이 sharp corner 일 때의 그래프로 groove corner와는 반대로 PP 수지는 4%, PA6 수지는 9%, ABS 수지는 9%, PC 수지는 11% 정도로 외측 캐비티가 내측 캐비티의 수축률 보다 낮았다.

수지유동 직각방향의 수축률은 수지유동 방향의 수축률과 같이 groove corner 효과와 sharp corner 효과로 인해 먼저 충전이 이루 어진 캐비티는 용융수지의 선유입으로 인해 금형 캐비티내의 충전 상태가 좋아지고, 금형내에서의 냉각시간이 길어 상대적으로 보압이 많이 걸리기 때문에 수지는 치밀하게 되고, 분자 배향의 정도가 낮아지므로 수축률은 작아진다⁵⁵⁾.

Fig. 5-2-9는 groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 러너 형상일 때 수지유동 직각방향의 수축률을 나타내는 그래프로 PP 수지는 1%, ABS 수지는 4%, PC 수지는 6% 정도로 내측 캐비티가 외측 캐비티의 수축률 보다 낮았다. PA6 수지는 외측 캐비티의 수축률이 2% 정도 낮아졌다. 따라서 수지유동 직각방향의 수축률은 groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 러너시스템에서 단일 형상의 러너보다 3~7% 정도 감소되는 결과를 나타내었다.

용융수지는 용융상태에서 유동에 의해 분자배향을 일으켜 유동 방향으로 당기어져 늘어난다. 냉각과정에서 배향성이 일부 완화되어 당기어 늘어진 분자가 원래 상태로 되돌아 가려고 하여 수축이 일어나게 되는데, 분자배향성이 큰 수지에서의 성형수축은 일반적 으로 수지유동 방향으로는 크고 수지유동 직각방향으로는 작게 나타난다고 알려져 있다⁵⁸⁻⁶¹⁾. 이러한 사실을 본 실험결과를 통하여 확인할 수 있었다.



Fig. 5-2-7 Comparison of polymer's shrinkage in groove corner (cross direction)



Fig. 5-2-8 Comparison of polymer's shrinkage in sharp corner (cross direction)



Fig. 5-2-9 Comparison of polymer's shrinkage in balanced runner (cross direction)

5.2.3 러너 코너형상에 따른 인장강도 변화

Photo. 5-6에서는 수지별로 인장시험 후 파단된 형상을 보여주고 있다. 실험결과 러너시스템 형상별로 결정성 수지인 PP의 경우 30~31(MPa), PA6는 40~42(MPa), 비결정성 수지인 ABS는 41~ 43(MPa), PC는 52~55(MPa) 범위의 인장강도를 나타내었다. 인장 강도의 크기는 PC, ABS, PA6, PP 수지 순으로 PC 수지가 가장 크게 측정되었다.

Fig. 5-2-10은 러너형상이 groove corner 일 때의 내측 및 외측 캐비티 간 인장강도를 나타낸 그래프이다. PP 수지의 경우 내측 캐비티의 인장강도가 외측 캐비티 보다 0.9%, PA6 수지는 1.9% 정도 높았고, ABS 수지는 3.8%, PC 수지는 4.0% 정도 높게 나타났다. 결과적으로 Fig. 5-2-13, Fig. 5-2-14, Fig. 5-2-15, Fig. 5-2-16의 최대 인장강도와 연신율에 대한 그래프에서 내측 캐비티의 최대 인장 강도가 외측 캐비티 보다 더 큰 값을 가진다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 5-2-11은 러너형상이 sharp corner 일 때의 결과로 PP 수지는 0.3%, PA6 수지는 1.7%, ABS 수지는 3.9%, PC 수지는 3.0% 정도로 외측 캐비티의 인장강도가 내측 캐비티 보다 높게 나타나 groove corner 일 때와 반대의 결과를 나타내었다.

Fig. 5-2-10의 groove corner 효과와 Fig. 5-2-11의 sharp corner 효과로 인해 먼저 충전이 이루어진 캐비티의 인장강도가 높게 나타 났으며, 먼저 충전이 이루어진 캐비티는 용융수지의 선유입으로 인해 금형 캐비티 내의 충전상태가 좋아지고, 늦게 충전이 이루어지는 캐비티에 비해 상대적으로 서냉의 효과로 인해 낮은 수축률을 가지 므로 단면적을 증가시키는 요인이 될 것이다. 또한 용융수지의 점탄적 성질에 의해 조직이 치밀해져 성형품의 인장강도가 증가되는 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 5-2-12는 groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 러너 형상일 때 인장강도를 나타낸 그래프로 모든 수지의 캐비티 간 인장강도의 편차가 1.0% 미만으로 작게 측정되었다. 따라서 균형 충전도가 양호한 groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 러너시스템에서 단일 형상의 러너시스템 보다 1~3% 정도 인장 강도의 편차를 줄일 수 있었다.



(a) PP (b) PA6 (c) ABS (d) PC

Photo. 5-6 The sample after tensile test



Fig. 5-2-10 Comparison of polymer's tensile strength in groove corner



Fig. 5-2-11 Comparison of polymer's tensile strength in sharp corner



Fig. 5-2-12 Comparison of polymer's tensile strength in balanced runner



Fig. 5-2-13 The relation of tensile strength and strain (PP)



Fig. 5-2-13 The relation of tensile strength and strain (PA6)



Fig. 5-2-15 The relation of tensile strength and strain (ABS)



Fig. 5-2-16 The relation of tensile strength and strain (PC)

제 6 장 결론

본 연구는 다수 캐비티 사출금형의 러너 형상에 따른 수지의 충전 거동에 관한 연구로써 첫 번째로 사출금형에서 불균형 러너시스템 에서의 균형 충전도에 대하여 PP, ABS 수지를 대상으로 성형조건에 따라 사출성형 실험과 성형해석 CAE를 수행하였다. 두 번째로 균형 러너시스템에서의 균형 충전도에 대하여 PP, PA6, ABS, PC 수지를 대상으로 사출성형 실험과 성형해석 CAE를 수행하였다. 또한, 균형 러너시스템 중 편측 분기형 러너시스템에서 sharp corner 효과와 groove corner 효과에 대한 연구 결과를 기반으로 하여 균형 충전을 위한 새로운 러너시스템을 제안하여 사례 연구를 통해 검증하였다. 세 번째로 제안된 새로운 러너시스템의 유효성 검증을 위해 성형 제품의 광택도, 수축률, 인장강도 등의 성형품질에 대하여 조사하여 그 실용성을 검증할 수 있었다.

불균형 러너시스템에서의 충전 불균형에 관한 주요 연구결과는 다음과 같다.

 (1) 사출속도에 따른 충전패턴의 변화가 수지의 종류에 따라 일어 나지 않았으며, 균형 충전도에 영향을 미치는 인자는 사출압력, 수지온도, 사출속도 순으로 사출압력이 가장 크게 나타났다.

(2) 온도 민감도가 높은 수지일 수록 충전 불균형도가 증가하였다.

(3) 사출성형해석을 통해 러너의 직경 변화에 따라 충전패턴이반대로 나타남을 확인할 수 있었다.

균형 러너시스템에서 러너 코너형상별 균형 충전도에 관한 실험 연구의 주요 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 편측 분기형 러너시스템에서 러너 형상이 groove corner 일 때 내측 캐비티가 sharp corner에서는 외측 캐비티가 먼저 충전이 이루어져 졌고, groove corner와 sharp corner를 동시에 취하게 했을 때 가장 양호한 균형 충전도를 나타내었다.
- (2) sharp corner 러너 형상에서의 충전 불균형을 설명할 수 있는 도식적 모델을 제시하였다.
- (3) 러너의 형상이 groove corner 일 때 groove 길이가 짧을수록 균형 충전도가 양호하게 나타났다.
- (4) 온도 민감도는 수지의 균형 충전도와 반비례 관계이므로 성형
 조건에 따라 온도 민감도가 높은 비결정성 수지의 균형 충전도가
 온도 민감도가 낮은 결정성 수지에 비해 낮게 나타났다.
- (5) sharp corner와 groove corner를 동시에 취하는 러너시스템의 유효성을 검증하기 위한 실험결과 PP 수지에서는 97.5% 이상, ABS 수지에서는 94% 이상의 양호한 균형 충전도를 나타내어 그 실효성을 검증할 수 있었다.

새롭게 제안된 러너시스템이 사출성형품의 품질에 미치는 영향에 관한 실험연구의 주요 연구결과는 다음과 같다.

- (1) groove corner 효과와 sharp corner 효과로 인해 먼저 충전이 이루어진 캐비티의 성형품은 광택도와 인장강도가 높게 나타났고, 수축률은 낮게 나타났다.
- (2) 수축률은 수지유동 직각방향에 비해 수지유동 방향으로의 수축률이더 크게 나타났다.
- (3) groove corner와 sharp corner를 동시에 취하는 새로운 러너 형상일 때 캐비티 간 광택도, 수축률, 인장강도의 차이가 가장 작게 나타났으며, 이 러너시스템은 양질의 성형품을 성형하는데 유효 함을 검증할 수 있었다.

참고문헌

- 한동엽, "비결정성 수지에서 성형조건이 성형품질에 미치는 영향", 공학석사 논문, 부경대학교, pp.1-2, 2003.
- 2) N.G. McCrum 외, "고분자공학원론", OXFORD UNIVERSITY. pp. 1-8, 1999.
- 3) 정영득, 박태원, 김현필 공역, "플라스틱 성형을 위한 알기 쉬운 금형설계", 도서출판 인터비젼, pp. 224-227, 2003.
- Jack H. Young and J. P. Beaumont, "Mold filling imbalances in geometrically balanced runner system", Journal of Injection Molding Technology, Vol. 1, No. 3, pp. 133–143, 1997.
- John P. Beaumont, Jack h. Young, and Matthew J. Jawoski, "Solving mold filling imbalance in multi-cavity injection molds", Journal of Injection Molding Technology, Vol. 2, No. 2, pp. 47–58, 1998.
- 6) Heath E. Casaldi and Timothy Michel, "Process window as effected by shear induced flow imbalance in multi-cavity molds", ANTEC 2001, pp. 3112–3115, 2001.
- Christopher W. White, "Development of filling imbalances in hot runner mold", ANTEC 99, pp. 3672–3676, 1999.
- Brock Allen and Tomas Lacey, "The affects of shear induced imbalance on the concentricity of injection molded gears", ANTEC 2003, pp. 3757–3761, 2003.

- Louis G. Reifscheider, "Documenting flow segregation in geometrically balanced runner", ANTEC 2001. pp. 3356–3360, 2001.
- Patrick Auell and Michel Bailey, "Effect of thermoplastic elastomer material properties on mold filling imbalances", ANTEC 2002, pp. 3495–3499, 2002.
- Jaime A. Cypher and Amanda M. Neely, "Examination of method for diagnosing mold filling imbalances in new multi-cavity molds", ANTEC 2003, pp. 3363–3367, 2003.
- 12) Ashwini Kumar, Aleksandra Egelja, Eric W. Grald and J. P. Beaumont "Experimental and numerical analysis of the flow imbalance in runner system", ANTEC 2002, pp. 541–550, 2002.
- 13) C. C. Chien, C. C. Chiang, W. H. Yang, Vito Tsai and David C.Hsu, "True 3D CAE visualization of filling imbalance in geometry-balanced runners", ANTEC 2005, pp. 55–59, 2005.
- 14) 장민규, 고승우, 박영민, 노병수, 정영득, "사출금형의 러너시스템 형상에 따른 충전 불균형 유동해석 모델" 한국금형공학회 동계 학술대회 논문집, pp. 137-142. 2007.
- 15) David A. Hoffman and J. P. Beaumont, "Thermoset filling imbalances in geometrically balanced runner systems", ANTEC 2001, pp. 842–846, 2001.
- 16) J. P. Beaumont, "Runner and gating design handbook",

Hanser Publishers, pp. 114-119, 2004.

- 17) J. P. Beaumont, "Runner and gating design handbook", Hanser Publishers, pp. 115, 2004.
- Kevin Boell and J. P. Beaumont, "Controlling balanced molding through new hot runner manifold designs", ANTEC 2001, pp. 932–936, 2001.
- J. P. Beaumont, "Runner and gating design handbook", Hanser Publishers, pp. 122, 2004.
- 20) 강철민, 정영득, "다수 캐비티 사출금형에서 유리섬유보강제가 충전 불균형에 미치는 영향", 대한기계학회 부산지부 2004년 춘계 학술대회 논문집, pp. 120-123, 2004.
- 21) K. T. Han, Y. Goo, B. T. Kim, Y. D. Jeong and S. R. Han, "A study on the filling imbalance in a geometrically balance injection mold", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 28, No. 6, pp. 931–937, 2004.
- 22) D. K. Je and Y. D. Jeong, "Filling imbalance in 3plate type injection molds with multi-cavity", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 2, No. 6, pp. 117–121, 2004.
- 23) C. M. Kang and Y. D. Jeong, "The filling imbalance in multi-cavity injection molds with unary branch type runnner lay-out", Transaction of Material Processing, Vol. 13, No. 7, 2004.

- 24) S. R. Han, C. M. Kang, K. T. Han and Y. D. Jeong, "A study on the filling imbalance between multi-cavity in hot-runner mold", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 22, No. 9, pp. 173–178, 2005.
- 25) D. Y. Han and Y. D. Jeong, "Filling imbalance of elastomer TPVs in injection mold with unary branch type runner system", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 25, No. 4, pp. 47–52, 2008.
- 26) 제덕근, "다수캐비티 사출금형에서의 균형충전에 관한 연구," 공학박사 논문, 부경대학교, pp.67-72, 2006.
- 27) 권윤숙, 한동엽, 제덕근, 곽재섭, 정영득, "사출성형시 불균형 충전에 관한 다구찌 실험계획법을 이용한 성형공정의 최적화", 한국금형공학회 제1회 학술대회 논문집, pp. 117-121. 2006.
- 28) 송준엽, 박태원, 제덕근, 정영득, "재생 관통형 형판구조의 사출 금형 개발", 한국정밀공학회지, Vol. 20, No. 6, 2003.
- 29) Y. D. Jeong, "Development of new runner system for filling balance in multy cavity injection mold", Journal of the Transactions of Materials Processing, Vol. 15, No. 1, pp. 42–46, 2006.
- 30) 제덕근, "다수캐비티 사출금형에서의 균형충전에 관한 연구," 공학박사 논문, 부경대학교, pp.79-87, 2006.
- 31) D. Y. Han, Y. S. Kwon, B. S. No and Y. D. Jeong, "Filling imbalance of elastomer TPVs in injection mold with

multi-cavity", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 41–46, 2007.

- 32) J. P. Beaumont, "Revolutionizing runner design in hot & cold runner molds", ANTEC 2001, pp. 3680–3687, 2001
- 33) Raymond W. McKee and Joshua A. Hoover, "The effect of sharp corners and runner length on melt flow imbalances", ANTEC, pp. 2868–2872, 2006.
- Alex Ingram Beamont, "Investigation of reversed shear induced melt imbalances in injection molds", ANTEC, pp. 1112–1116, 2007.
- 35) Jeong, Y. D, Park, T. W. and Kong, H. P., "Easy mold design for plastic injection molding," INTERVISION, pp. 156–159, pp. 224–227, 2005.
- 36) 권태현, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득 공역 "사출성형CAE 설계지침", 문운당, pp. 72-73, 2004.
- 37) 강철민, "다수캐비티 사출금형에서 성형조건이 균형충전에 미치는 영향," 공학석사 논문, 부경대학교, pp. 31-37, 2005.
- 38) 한동엽, 정영득, "사출금형의 러너시스템 형상에 따른 균형 충전도", 한국금형공학회 동계 학술대회 논문집, pp. 213-218. 2007.
- 39) 일본플라스틱가공기술협회, "사출금형의 기본과 응용", 기전 출판사, pp. 87-98, 1985.
- 40) 신남호, 이균덕, "플라스틱 금형의 기본과 설계", (주)한국산업 정보센타, pp. 188-196, 1997.

- 41) J. P. Beaumont, "Runner and gating design handbook", Hanser Publishers, pp. 70, 2004.
- 42) Patrick Auell, Michael Bailey "Effect thermoplastic material properties on mold filling imbalances", ANTEC, pp.3495–3499, 2002.
- 43) John. P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman "Successful injection molding", HANSER, pp. 36–37, 2002.
- 44) D. K. Je and Y. D. Jeong, "Filling imbalance in 3 plate type injection molds with multi-cavity," Spring conference KSPE, pp. 300-301, 2000.
- 45) LG전선 사출시스템 사업부, "취급설명서 LG 사출성형기", LG 전선, 1999.
- 46) Tim A. Osswald, Georg Menges, "고분자재료공학", HANSER, pp. 422-424, 1998.
- 47) 조웅식, "사출성형 금형설계기술", 기전연구사, pp. 55-61, 2001.
- 48) 이우철, "사출금형 설계", 기전연구사, pp. 80-81, 1987.
- 49) G. Menges, W. Michaeli and P. Mohren, " How to make injection molds", Hanser Publishers, Munich, Third edition, pp. 346, 2000.
- 50) 한국고분자학회, "고분자실험", 아카데미, pp. 190-195, 1993.
- 51) 한동엽, 권윤숙, 정영득, "나뭇가지형 러너시스템을 갖는 사출 금형에서 성형조건에 따른 충전 불균형", 한국금형공학회 제1회 학술대회 논문집, pp. 127-132. 2006.

- 52) J. P. Beaumont, "Runner and gating design handbook", Hanser Publishers, Munich, pp. 143–144, 2004.
- 53) Edited by Avraam I. Isayev, "Injection and compression molding fundamental", Marcel Dekker. inc, pp. 80–85, 1987.
- 54) Nontgomery, D. C., "Design and Analysis of Experiments", John Wiley & Sons, pp. 218–246, 2001.
- 55) Lee, S. H., "Engineering statistics data analysis by using Minitab", Eretec Inc, pp. 727–775, 2006.
- 56) Park, S. H., "Design and Analysis of Experiments," Minyoungsa, pp. 423, 2002.
- 57) 한동엽, 정영득, "다수 캐비티 사출금형에서 충전 불균형이 성형 품질에 미치는 영향", 한국금형공학회 하계 학술대회 논문집, pp. 89-94. 2008.
- 58) 최윤식, 한동엽, 정영득, "제품 형상에 따른 PP수지의 수축거동", 한국기계가공학회지 제2권, 제1호, pp. 100-105, 2003.
- 59) 김경범, "폴리카보네이트 사출성형품의 성형수축과 인장강도", 공학석사 논문, 부경대학교, pp. 30-40, 2004.
- 60) 최윤식, "사출성형 방식에 따른 성형수축 거동에 관한 연구", 공학박사 논문, 부경대학교, pp. 74-78, 2006.
- 61) 한성렬, "열가소성 엘라스토머의 사출성형 및 자동차 웨더스트립 성형용 스텍금형 개발", 공학박사 논문, 부경대학교, pp. 70-74, 2007.

A Study on the Filling Behaviors of Polymer according to Runner Shapes in the Multy-Cavity Injection Mold

Dong-Yeop Han

Department of Mechanical Engineering, The Graduate School, Pukyong National University

Abstract

The filling imbalance in injection molding process leads to distortion and increases product's internal stress. Unequal shrinkage rate and orientation by the filling imbalance bring about deterioration of product such as warpage and inequality gloss. The study on the filling imbalance in a multi cavity mold that was began at 1997's by Beaumont. He has been shown step by step reasons of the phenomenon. Nevertheless, a cleary solve of the problem has not been yet. However the present domestic studies about the filling imbalance classified the software method to minimize the problem by analyzing effective factors having influence on the filling imbalance and the hardware method to apply the runner core pin(RC pin) on diverging point of 1st runner in injection mold. A continual advanced methods for balanced filling is needed notwithstanding these former efforts because more high precision and quality product with µm unit is demanded according to injection molding industrial growth.

In this paper, a study on the filling behaviors of polymer according to runner shapes in the multi-cavity injection mold was performed. The filling imbalance is investigated at a geometrical imbalanced and balanced runner system in multi cavity mold. The filling imbalance rate also by injection molding conditions has been investigated and various runner system for amorphous and semi-crystal plastic materials. In each chapter, the results of injection molding analysis and molding experiment are analyzing to refer demand for 3D CAE injection molding analysis software.

This study is based on the results of reverse corner(sharp corner) effect that was released by Beaumont, Mckee and Hoover and cold slug well(groove corner) effect that was released by PIM(Precision Injection Molding) laboratory of Pukyong National University.

Especially, a new runner system applied to results of filling balance rate according to runner corner shape effect and variable runner corner is suggested. Moreover, for case study an experiment was conducted with mold applied cavity of fork shape. Finally, in order to verify the validity of a new runner system for filling balance, it was experimented about the effect of runner corner shape on the molding's quality.

The result of experiments show that the new runner system applied together groove corner and sharp corner made fine filling balance rate and good quality product.

