

전열가열방식을 이용한 휴대전화용 복합기능 도광판 제작 및 전사성 평가

김영균¹, 정재엽¹, 김동학^{2*}

Fabrication and transcription estimation of prismless LGP for cellular phone using E-Mold technology

Young-Kyun Kim¹, Jae-Youp Chung¹ and Dong-Hak Kim^{2*}

요약 본 논문에서는 전열(마이크로 히터, 센서)을 이용해 금형의 표면을 가열하는 E-MOLD 특허기술을 적용하여 휴대전화용 복합기능 도광판(Prismless LGP)을 제작하고, 전사성을 평가하였다. 이를 위하여 MEMS 공정을 이용하여 복합기능 도광판용 니켈 스탬퍼를 제작하였고, E-MOLD 기술의 핵심인 이동가열코어(movable heated core)가 설치된 금형을 설계, 제작하였다. 이를 이용하여 성형조건 중 금형온도를 변화시키면서 복합기능 도광판을 사출성형으로 제조 하였고, 금형온도가 성형품의 전사성에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 또한, 전산모사 프로그램(CAE)을 이용하여 금형온도와 사출시간에 따른 수지의 유동성을 해석하였다. 금형온도에 따른 도광판의 전사성은 100℃(25.0nm), 140℃(48.4nm), 180℃(52.1nm)로 나타났고, 스탬퍼(52.1nm)와 비교했을 때 180℃에서 전사성이 가장 우수했다. 전산모사 해석결과에 따르면, 수지의 유동성은 금형온도(50~180℃)가 증가할수록 향상되었다. 사출시간(1~2sec)이 길수록 유동성이 감소하는 경향을 160℃에서 확인하였다. 따라서 수지의 전사성과 유동성은 금형온도에 따라 증가하고, 특히 유리전이 온도(140℃) 이상에서 크게 상승하였다.

Abstract In this paper, we adopted E-MOLD patent technology in order to fabricate Prismless LGP(Light Guide Panel) for cellular phone and estimate the transcription of injection-molded parts. Then, we manufactured the Ni stamper for Prismless LGP using MEMS process. And the stamper was installed in the movable heated core which is the key part of a patented mold. Using this mold, we manufactured injection-molded plastic LGP parts with different mold temperatures so that we investigate effect of the temperature on the transcription of the parts. The CAE analysis was also conducted in order to compare with the experimental results. The transcription of LGP parts with various mold temperature displayed 100℃(25.0nm), 140℃(48.4nm), 180℃(52.1nm) and when compared with stamper(52.1nm), transcription was superior at 180℃. According to the CAE results, moldability was improved as mold temperature (50℃~180℃) increased, but when filling time(1~2sec) increases, it decreased at 160℃. And transcription and moldability were improved markedly at glass transition temperature(140℃).

Key Words : prismless light guide panel, moving core type, electrically heated mold, transcription, flow analysis

1. 서 론

LCD용 백라이트 유닛(Back Light Unit)은 액정화면의 뒤에서 빛을 방출해주는 광원장치로 기본적으로 광원

판, 도광판(Light Guide Panel), 반사시트(Reflector Sheet), 확산시트(Diffuser Sheet), 프리즘시트(Prism Sheet)로 구성된다.

도광판은 액정 디스플레이 내에 빛을 액정에 유도하여

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행되었습니다.

본 연구는 중소기업청의 산학공동기술개발지원사업으로 수행되었습니다.

¹순천향대학교 나노화학공학과(석사과정)

²순천향대학교 나노화학공학과 교수

*교신저자 : 김동학(dhkim@sch.ac.kr)

접수일 08년 10월 10일

수정일 (1차 08년 12월 02일, 2차 09년 01월 06일)

게재확정일 09년 01월 16일

균일하게 전면으로 전사시키는 역할을 하는 백라이트 유닛의 내부에 사용되고 있는 가장 핵심이 되는 부품으로 휘도분포를 균일하게 하면서 냉음극관(CCFL : Cold Cathode Fluorescent Lamp), 발광다이오드(LED : Light Emitting Diode) 등의 램프로부터 입사된 선광원(CCFL)과 점광원(LED)을 균일한 평면광으로 변환시켜주는 구성요소이다.

도광판은 그 자체만으로는 광원에서 방출된 광선이 도광판 전체면에 균일한 분포를 이룰 수 없어 도광판 표면을 백색 잉크로 인쇄하거나 홈을 주어 광의 경로를 변경시키며 출사된 광선의 균일한 휘도 분포 및 증대를 위해 프리즘시트, 확산시트, 반사시트의 광학기능 필름이 사용된다. 도광판 제조방식으로는 Screen Printing, V-cutting, Printless 등의 기술이 사용된다[1,2].

최근 들어 평판 디스플레이(TFT-LCD)가 휴대폰, 노트북, 모니터, TV 등 그 응용분야가 확대되면서 점차 고휘도, 경량화 되는 추세이다. 이에 디스플레이 세트업체의 부품 수를 줄여 제조비용을 낮추려는 노력이 가시화되면서 기존의 도광판 양쪽 표면에 부착하던 프리즘시트를 제거하고 도광판에 직접 미세 프리즘 패턴을 형상화하려는 연구가 활발하다.

이처럼 일체화된 미세 구조물을 가진 복합기능도광판을 저비용으로 대량생산하는 가공방법으로는 사출성형 공정기술이 유망하다. 그러나 백라이트 유닛용 복합기능도광판의 양산공정에서 사출성형 불량으로 제품의 양산(평균불량률 40% 이상)에 문제점이 있다. 따라서 사출성형의 특성상 수지와 금형의 온도차로 인하여 성형품 표면의 물성 및 전사성 결함은 형상이 미세하고 정밀해질수록 더욱 그 경향이 나타나 일반 사출성형만으로는 구현이 불가능하다[3,4]. 이와 같이 높은 중형비와 나노패턴을 갖는 플라스틱 부품의 고품위 외관 품질을 구현할 수 있는 사출성형 신가공기술이 절대적으로 필요하다. 나노패턴을 갖는 플라스틱부품을 제작하는데 있어 요구되는 필수적인 사출성형기술은 금형을 가열하여 금형온도를 용융된 수지온도와 동일한 수준까지 가열하여 성형시킨 후 급속히 냉각하여 사이클 타임의 지연이 없어야 한다.

지금까지 일반사출성형의 웰드 라인(Weld line), 싱크마크(Sink mark), 플로우 마크(Flow mark), 게이트 마크(Gate mark)와 같은 불량요인을 해결하기 위해 기계화염(MmSH), 전자기 유도, 적외선 등을 이용한 다양한 금형가열방식이 개발되어 사용되고 있다[5,6,7,8]. 이와 같은 금형가열방식은 일반 사출성형의 불량요인을 해결할 수 있는 장점이 있는 반면에, MEMS 공정 및 반도체 공정 등 청정환경을 요구하는 제조공정에 제약이 따르거나 에너지 소모 비용 증가 및 사이클 타임 지연 등의 단점을

가지고 있다.

본 연구에서는 이중코어로 만들어진 금형에 전열장치(마이크로 히터, 센서)를 이용하여 금형의 표면만을 가열하여 금형의 온도를 수지의 용융점인 200℃ 이상으로 가열하여 성형하는 전열가열방식(E-MOLD)을 사용하였다. E-MOLD는 일반사출 성형 시 발생하는 표면결함을 해결할 수 있는 정밀성형기술이며 열선을 이용한 금형가열방식으로 청정환경을 요구하는 제조공정에도 적용이 가능할 뿐만 아니라 가열시간과 냉각시간을 효율적으로 제어할 수 있어 사이클 타임의 지연을 최소화할 수 있다. 또한 금형을 지속적으로 가열하여 온도를 유지하는 것이 아니라 필요시간만 금형을 가열하기 때문에 에너지 소모 비용도 적다.

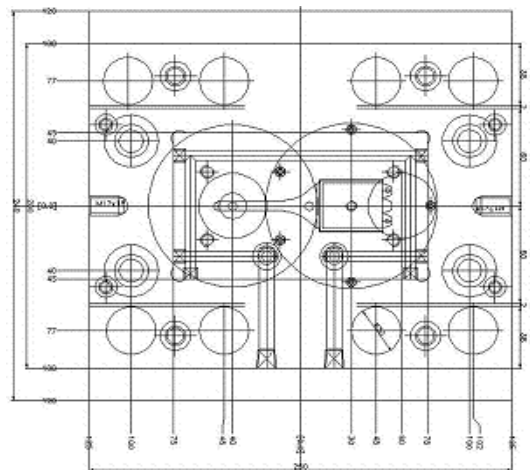
본 연구에서는 원기동형 나노패턴 스탬퍼(Stamper)와 전열가열방식(E-MOLD)을 이용하여 휴대전화용 복합기능도광판(Prismless LGP)을 제작하였다.

제작된 도광판은 표면 특성평가를 통해 사출성형품 품질에 영향을 주는 인자 중 금형온도가 패턴의 전사성에 미치는 영향에 대하여 알아보았다.

2. 실험

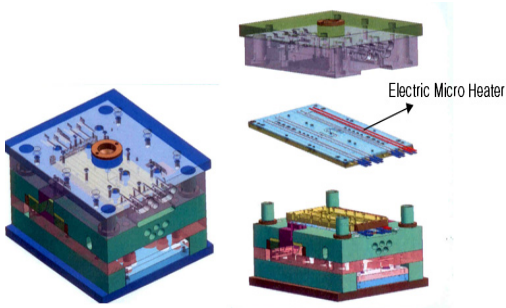
2.1 금형설계 및 제작

성형에 사용된 금형은 E-MOLD 방식으로 전열을 이용하여 가열이 용이하도록 설계되었고, 제작된 금형의 캐비티(cavity)는 one cavity 형태로서 그림 1과 같다. 미세구조를 갖는 BLU용 복합기능도광판 제작금형의 요구특성은 다음과 같다.



[그림 1] 금형 개략도.

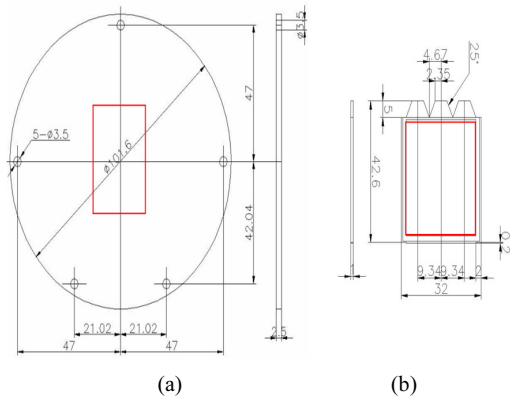
첫째로, 표면을 순간적으로 가열하여 금형표면온도를 수지온도 수준까지 상승시킨 후 충전이 완료되면 급속냉각이 가능한 구조가 되어야 한다. 둘째로 일반성형에 비해 사이클 타임이 길어지지 않아야 한다. 셋째로 반복공정의 가열, 냉각 사이클에 견딜 수 있는 금형재질이어야 한다. 마지막으로 스탬퍼의 장착 및 탈착이 가능한 스탬퍼 금형 구조이어야 한다. 이러한 특성에 적합하도록 제작된 금형은 분리형 이동가열코어 방식의 금형으로 그림 2와 같다. 이동가열코어 프레임과 성형면 가공판을 고정할 수 있도록 진공/불팅체결로 되어 있다.



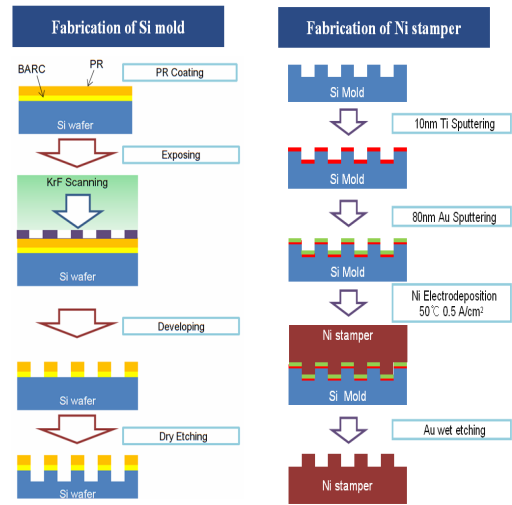
[그림 2] 이동가열코어를 갖는 E-MOLD 구조.

2.2 스탬퍼(Stamper) 설계 및 제작

스탬퍼(Stamper)는 금형에 장착이 가능한 4인치 크기로 설계되었고, 패턴의 위치는 사출성형 시성형되는 성형품의 크기 및 위치에 적합하도록 배치하였다. 스탬퍼의 패턴 형상은 원기둥을 갖는 홀로그램(Hologram) 패턴으로 형상화하였다. 그림 3은 스탬퍼의 개략도를 나타낸 것이고, 그림 4는 홀로그램 패턴을 갖는 스탬퍼의 제작 공정도이다.



[그림 3] 스탬퍼 개략도. (a) 스탬퍼 사이즈 (b) 성형품 사이즈



[그림 4] 홀로그램 패턴을 갖는 스탬퍼 제조 공정도.

실리콘 웨이퍼의 상부에 BARC(bottomed anti-reflective coating)를 도포하여 노광 시 정재파(standing wave)를 감소시킨 후 스피너를 이용하여 PR(photoresist)를 도포하였다. KrF 스캐너(NikonS203-B)를 이용한 Photo-lithography 공정으로 PR의 나노패턴을 얻었다. RIE(Lam Research TCP 9600DFM)를 이용한 건식식각법으로 나노패턴을 갖는 실리콘 몰드를 제작하였고 Breakthrough(BT) 공정과 Main Etching(ME) 공정으로 식각공정을 하였다. 도금기(Digital Matrix SA/2MEM)를 이용하여 형성된 실리콘 몰드 위에 Ti 10nm, Ni 80nm의 두께로 무전해 전기도금 공정을 이용하여 스탬퍼를 제작하였다. 실리콘 몰드와 니켈 스탬퍼 분리를 위해 Ti/Au층을 습식식각 하였고 완성된 스탬퍼는 그림 2의 전열가열방식(E-MOLD)이 가능하도록 제작된 분리형 이동가열코어 금형에 장착하였다.

2.3 전열가열방식(E-MOLD)을 이용한 사출성형

실험에 사용한 사출성형기는 토글타입의 고속정밀 사출기(동신유압, PRO-25WD)이다.

사용수지는 휴대 전화용 도광판에 주로 사용되는 폴리 카보네이트(PC) 수지를 사용하였다. 표 1은 PC 수지의 물성을 나타낸 것이다.

[표 1] 폴리카보네이트(PC) 수지의 물성.

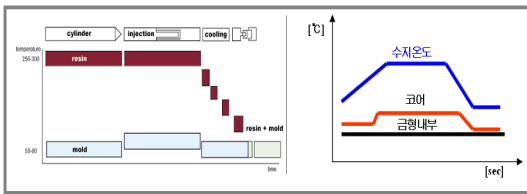
구분	성형 수축률 (%)	신장률 (%)	탄성률 (kg/cm ²)	유리 전이 온도 (°C)	흡수율 (%)	광투과율 (%)	굴절률 (%)
PC	0.5-0.7	110	24,000	140	0.15	90	1.59

휴대전화 용도에서는 내열성/내충격성의 요구가 높기 때문에 고온으로 유동성이 높고 휴대전화용 도광판에 필요한 복잡한 미세가공에 PC 수지가 적합하다. 표 2는 성형조건으로 금형온도를 제외한 다른 공정변수인 사출압력, 보압, 속도, 위치, 시간(가열 및 냉각), 냉각수 온도는 일정하게 하였다.

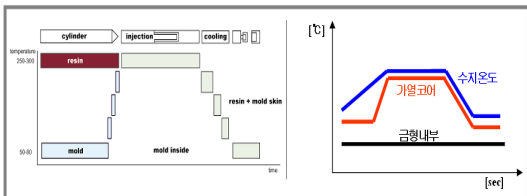
【표 2】 사출성형 조건

Stroke (mm)	압력 (kg/cm ²)	속도 (%)	보압 (kg/cm ²)	시간(sec)		온도(°C)	
				성형	냉각	실린더	냉각수
46.2	90	30	100	4	30	290	20

사출성형에 사용된 금형은 단면가열방식으로 스템퍼가 장착되는 고정측만 가열되며, 이동측은 일반금형과 동일한 구조로 되어있다. 금형온도는 이동측은 금형온도조절기와 칠러(chiller)를 사용하여 가공된 냉각수로를 통하여 냉각수를 순환 시켜 금형온도를 80°C로 설정하였고, 고정측은 일반사출방식과 E-MOLD 방식으로 성형되는 복합기능 도광판의 나노패턴 전사성을 비교하기 위해 금형온도를 80~180°C로 설정했다. 고정측의 가열면은 가열코어, 냉각판, 금형원판 구조로 되어 있다. 가열코어는 E-MOLD에서 가장 중요한 부품으로 급속가열이 이루어지는 판이며 앞면은 제품이 성형되는 면이고, 뒷면은 마이크로 히터와 온도센서로 구성된 전열장치가 장착되어 있다. 그림 5는 일반사출방식과 E-MOLD 방식으로 금형을 가열할 때 온도센서로 측정되는 금형의 온도 프로파일(허용오차 : ±10°C)을 비교한 것이며, 그림 6은 가열에 사용된 E-MOLD 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.



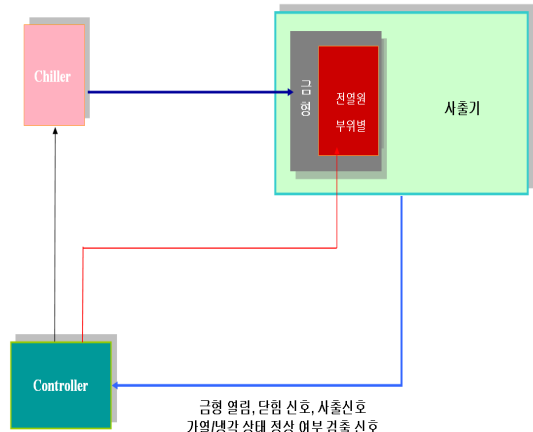
(a) 일반사출



(b) E-MOLD 사출

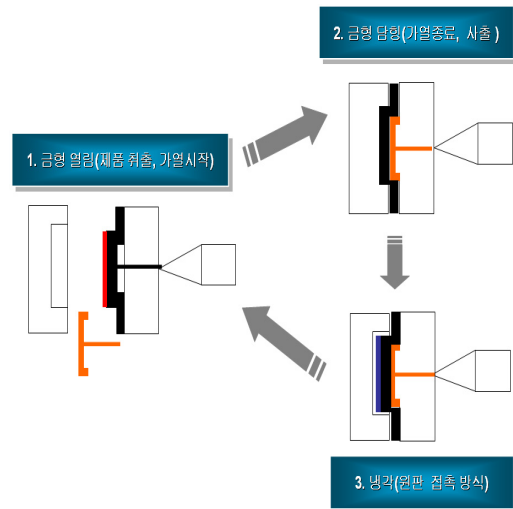
【그림 5】 사출성형(1 사이클)의 온도 프로파일.

(a) 일반사출 (b) E-MOLD 사출



【그림 6】 E-MOLD 제어기를 이용한 사출성형 공정 개략도.

E-MOLD 사출성형 사이클(cycle)은 충전 후 금형이 열리면 이동가열코어(core)가 분리되고, 전기가 공급되어 전열장치에서 발생하는 열로 금형표면(가열코어)을 가열하여 금형온도를 수지온도 수준까지 가열한다. 금형이 닫히면 수지를 충전시키고 냉각공정에서 이동가열코어가 분리되고 냉각수를 이용하여 급속하게 냉각이 이루어진다. 냉각이 완료되면 성형품을 추출 하는 것으로 하나의 사이클이 완성된다. 그림 7은 E-MOLD 방식에 의한 공정도를 나타내었다.



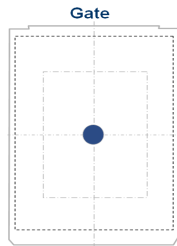
【그림 7】 E-MOLD 공정도.

2.4 성형품 표면 특성평가

E-MOLD로 성형된 성형품은 금형온도별로 추출 하였으나. 성형품의 표면특성은 NC-AFM 방식의 원자 현미경

인 SPM(PSIA, XE-100)으로 나노패턴 전사성을 평가하였다. 전사성 평가는 금형에 장착되어 사출성형에 사용된 니켈 스탬퍼의 패턴 사이즈와 100, 140, 180℃에서 성형된 도광판의 패턴 사이즈를 비교하는 것으로 평가된다. 스캔 사이즈는 3×3μm이며, 프로파일 분석은 스캐닝된 패턴의 깊이와 폭을 측정하여 스탬퍼의 프로 파일과 비교했다.

그림 8은 도광판을 SPM으로 스캐닝 하여 분석한 위치이다.



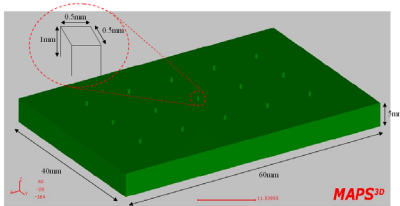
[그림 8] 성형품의 측정위치.

2.5 시뮬레이션(CAE)을 이용한 수지 유동해석

유변학적 특성상 수지의 충전 형상은 점도에 따라서 달라진다. 일반적으로 금형온도가 높을수록 수지의 점도가 낮아져 흐름성이 좋아진다.

이는 금형온도가 높아질수록 용융된 수지와 금형온도의 차이를 최소화 시킴으로써 고화되는 시간이 느려지고, 고화층이 얇게 형성되어 흐름성이 좋아지게 된다. 따라서 PC 수지의 유동해석을 위해 사출성형 시뮬레이션(CAE) 해석 프로그램인 MAPS 3D를 이용하여 금형온도가 수지 유동성에 미치는 영향에 대하여 알아보았다.

그림 9는 충전과정을 시뮬레이션 하기 위해 설계된 모델을 나타내었다.



[그림 9] 금형특성 조사를 위한 박판 두께의 미세 기둥을 갖는 부분의 모델링.

표 3은 해석조건으로 금형온도와 사출시간을 제외한 다른 인자인 수지 용융온도, 냉각 및 보압 시간은 일정하게 하였다.

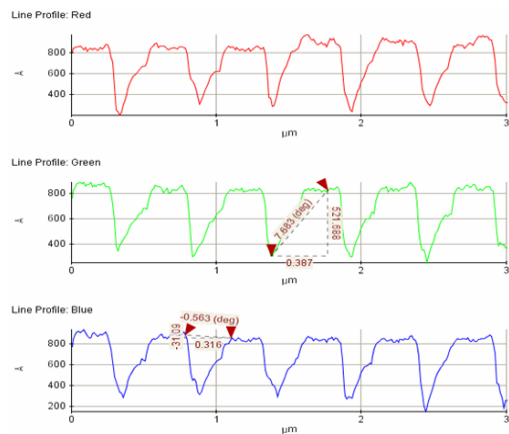
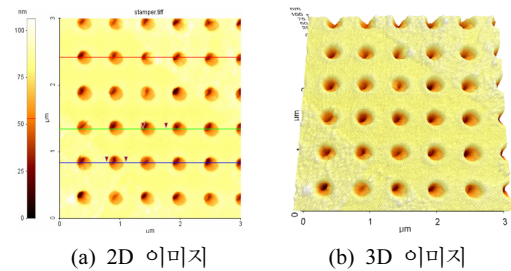
[표 3] CAE 분석 조건.

구분	금형온도(℃)					수지 용융 온도(℃)	시간(sec)		
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5		성형	냉각	보압
PC	50	80	140	160	180	317.5	1~2	30	2

3. 결과 및 토론

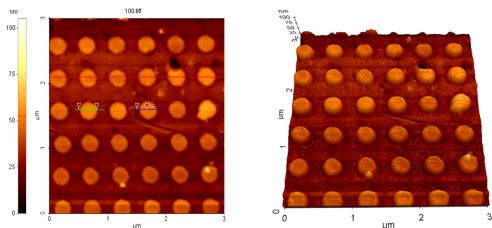
3.1 금형온도에 따른 성형품의 패턴 전사성 평가

그림 10은 원기둥을 갖는 홀로그램 패턴 전사를 위해 사용된 스탬퍼의 표면을 SPM으로 관찰한 결과이다. 전사된 패턴의 깊이는 52.1nm이고, 패턴의 폭은 316.4nm로 측정되었다.

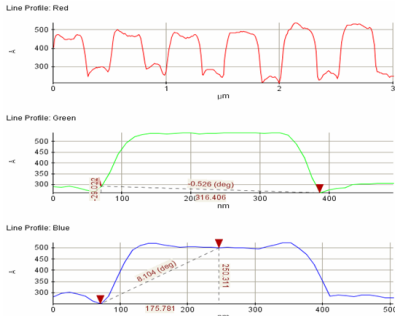


(c) 패턴의 높이, 폭에 대한 분석 프로파일
[그림 10] 스탬퍼 SPM 이미지.

그림 11은 PC 수지를 사용하여 E-MOLD 방식을 통해 100℃에서 성형된 도광판의 표면을 SPM으로 관찰한 결과이다. 전사된 패턴의 깊이는 25.0nm, 패턴과의 폭은 316.4nm로 측정되었다.



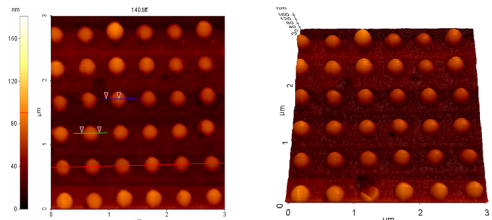
(a) 2D 이미지 (b) 3D 이미지



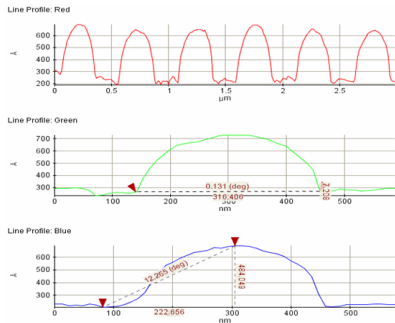
(c) 패턴의 높이, 폭에 대한 분석 프로파일

[그림 11] 도광판 SPM 이미지(100°C).

PC의 유리전이 온도와 동일한 온도인 140°C에서 성형된 도광판을 SPM으로 관찰한 결과는 그림 12에 나타내었다. 전사된 패턴의 깊이는 48.4nm, 패턴과의 폭은 316.4nm이었다. 100°C에서 성형된 성형품보다 패턴의 깊이가 23.4nm 향상되었다.



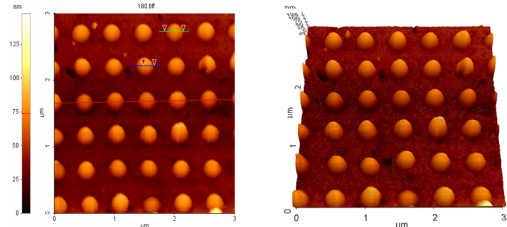
(a) 2D 이미지 (b) 3D 이미지



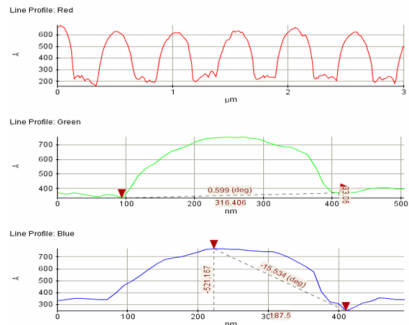
(c) 패턴의 높이, 폭에 대한 분석 프로파일

[그림 12] 도광판 SPM 이미지(140°C).

그림 13은 180°C에서 성형된 도광판을 SPM으로 관찰한 결과이다. 패턴의 깊이는 52.1nm이고, 패턴의 폭은 316.4nm로 측정되었다. 140°C일 때 보다 패턴의 깊이가 3.7nm 향상되었고, 스탬퍼와 동일한 패턴의 깊이와 폭을 나타냈다.



(a) 2D 이미지 (b) 3D 이미지



(c) 패턴의 높이, 폭에 대한 분석 프로파일

[그림 13] 도광판 SPM 이미지(180°C).

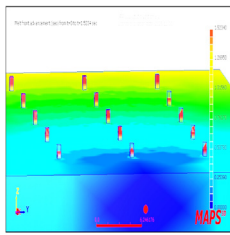
표 4는 원기둥을 갖는 홀로그ラム 패턴 스탬퍼와 금형 온도 변화에 따른 휴대전화용 복합기능 도광판의 패턴의 높이와 폭에 대한 측정값을 도시하였다.

[표 4] 전사성 vs. 금형 온도.

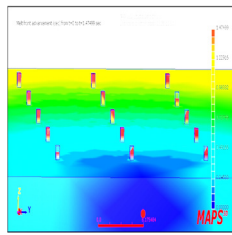
Division	Height (nm)	Width(nm)
Stamper	52.1	316.4
100°C	25.0	316.4
140°C	48.4	316.4
180°C	52.1	316.4

3.2 금형온도와 사출시간에 따른 수지 유동성 평가

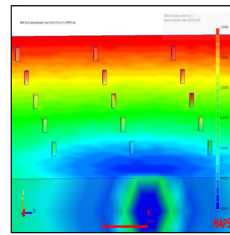
그림 9와 같이 설계된 모델을 이용하여 금형온도와 사출시간을 공정변수로 하여 시뮬레이션(CAE)을 통해 수지의 유동성을 비교하였다. 그림 14와 15는 사출시간을 각각 1sec와 2sec로 하였을 때 금형온도에 따른 수지의 충전과정을 시뮬레이션 한 것이다.



(a) 금형온도 : 50°C

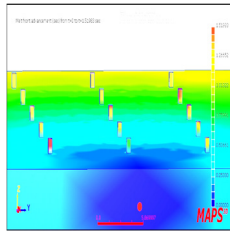


(b) 금형온도 : 80°C

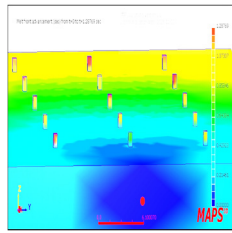


(e) 금형온도 : 180°C

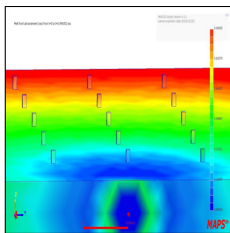
[그림 15] CAE 프로그램을 이용한 유동 시뮬레이션(사출 시간 : 2sec).



(c) 금형온도 : 140°C

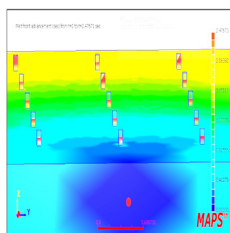


(d) 금형온도 : 160°C

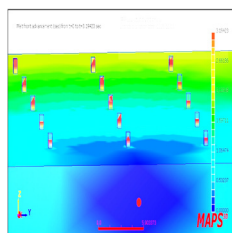


(e) 금형온도 : 180°C

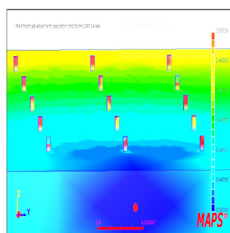
[그림 14] CAE 프로그램을 이용한 유동 시뮬레이션(사출 시간 : 1sec).



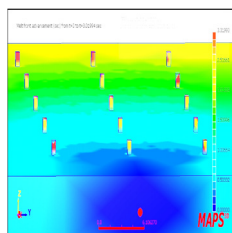
(a) 금형온도 : 50°C



(b) 금형온도 : 80°C



(c) 금형온도 : 140°C



(d) 금형온도 : 160°C

그림 14는 사출시간이 1sec 일 때 50°C, 80°C, 140°C에서는 미성형이 되었고, 160~180°C에서는 패턴 내에 수지가 충전되어 성형이 됨으로써 금형온도가 증가할수록 수지의 유동성이 향상됨을 나타냈다. 그림 15에서는 사출시간이 2sec일 때 1sec 일 때와 달리 금형온도를 50°C → 160°C로 증가시켜도 미성형이 되었고, 180°C에서 성형이 됨으로써 금형 온도뿐만 아니라 사출속도 및 압력에 유동성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 표 5는 시뮬레이션을 통해 해석된 금형온도와 사출시간에 따른 수지의 유동해석 결과를 나타내었다.

[표 5] 폴리카보네이트(PC) 수지를 이용한 유동해석 결과.

금형온도(°C)	사출시간(sec)	유동해석 결과
50	1	미성형
	2	미성형
80	1	미성형
	2	미성형
140	1	미성형
	2	미성형
160	1	성형
	2	미성형
180	1	성형
	2	성형

4. 결 론

본 연구에서는 전열가열방식을 이용한 휴대전화용 복합기능 도광판 제작을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 스탬퍼와 금형온도(100~180°C)에 따른 도광판의 패턴 전사성을 비교한 결과, 100°C(25.0nm), 140°C(48.4nm), 180°C(52.1nm)로 금형온도가 증가할수록 패턴의 전사성이 향상되었고, 180°C에서 패턴이 완벽하게 전사되어 스탬퍼(52.1nm)와 동일한 패턴의

높이를 구현하였다.

- 2) 시뮬레이션을 이용한 금형온도 및 사출시간에 따른 수지의 유동해석 결과에 의하면 금형온도가 증가할 여도 사출시간(1~2sec)에 따라 성형 또는 미성형 됨으로써, 금형온도 뿐만 아니라 사출속도 및 압력에 따라서도 수지의 유동성에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.
- 3) PC 수지의 전사성 및 유동성은 금형온도가 증가할 수록 용융된 수지와 금형 사이의 열전달을 최소화 시켜 캐비티 내에서 수지의 유동성이 향상됨으로써 증가하고 특히, 유리전이 온도(140℃) 이상에서 크게 향상되었다.

참고문헌

- [1] 특허청, “2000년 신기술 동향 조사 보고서(백라이트 부분의 저소비 전력화)”, 2000.
- [2] 황철진, 김종덕, 허영무, 하수용, 이규현, “LIGA-reflow 마이크로렌즈 패턴 금형 가공 및 LCD BLU 개발”, 기계기술(신기술동향/기술리포트), pp. 164-168, 2004.
- [3] R. A. Malloy, “Plastic Part Design for Injection molding”, Hanser Publisher, Munich Vienna, New York, 1994.
- [4] S. Fellahi, A. Meddad., B. Fisa, and B. D. Favis, “Weldlines in Injection Molded Parts:A Review”, Adv. Poly. Tech., vol. 14, 169, 1995
- [5] D. H. Kim, M. H. Kang and Y. H. Chun, “Development of a notebook PC housing by using MmSH process”, ANTEC2001, 2001.
- [6] J. A. Chang, S. C. Chen and J. C. Cin, “Rapid mold temperature control on micro injection molded parts with high aspect ratio micro-features”, ANTEC2006, 2006
- [7] M. C. Yu, W. B. Young, P. M. Hsu, “Micro-injection molding with the infrared assisted mold heating system”, ANTEC2007, 2007
- [8] D. H. Kim, H. J. Yoo, T. W. Kim, “Effects of the mold surface heating methods for the DVD stamper with nano pattern on the transcription of the injection molded parts using COC and PMMA plastics”, Journal of the Korean Academic Industrial Society, Vol. 5, No. 3, pp. 218-222, 2004

김 동 학(Dong-Hak Kim)

[정회원]



- 1986년 : 서울대학교 화학공학과 (공학사)
- 1988년 : KAIST 화학공학과 (공학석사)
- 1993년 : KAIST 화학공학과 (공학박사)

<관심분야>

고분자가공, 유변학 및 이동현상

김 영 균(Young-Kyun Kim)

[정회원]



- 2005년 : 순천향대학교 환경공학과 (공학사)

<관심분야>

고분자가공, 사출성형

정 재 엽(Jae-Youp Chung)

[정회원]



- 2007년 : 순천향대학교 화학공학과 (공학사)

<관심분야>

고분자가공, CAE