

R&E 융합적 사례: IoT 기반 무선 디바이스 성형연구

이정익*

¹인하공업전문대학 기계설계과

Convergent Case Study of Research and Education: Internet of Things Based Wireless Device Forming Research

Jeong-Ick Lee^{1*}

¹Dept. of Mechanical Design, Inha Technical College

요약 본 연구는 이과계통의 고교생들과 함께 연구한 연구(RESEARCH) 및 교육(EDUCATION)의 사례연구이다. 최근 발달한 사물인터넷(IoT)[9-15] 기반의 여러 가지 연구주제가 존재한다. 본 연구는 이들 중 이동형 통신 기기중 가장 초보단계이면서도 학생들이 쉽게 접하고 제작방법을 따라 갈 수 있는 무선 호출기의 성형과정을 연구 주제로 정하였다. 우리는 이것을 페이지라고 한다. 오늘날 복잡하고 빅 데이터를 사용할 수 있는 대용량 스마트 이동형 통신기기[9-15]가 나와 있다. 그 이전 무선 호출기는 우리 삶에 이동 통신 수단의 첫 의미를 가르쳐 준 기기였다. 내부 구조도 비교적 간단하고 기능도 비교적 단순하여 이제 막 대학의 이공계에 관심을 가진 고교생들의 교육 사례로 적합하다고 생각된다. 본 연구는 사출성형 해석의 ONE CAVITY 해석이라는 비교적 간단한 내용으로 무선 호출기의 기구, 전자적인 내용을 모두 살펴볼 수 있다. 나아가 학생들에게 대량생산 및 공정자동화에 대한 융합교육의 의미도 일깨워 줄 수 있는 좋은 교육 사례로 평가된다.

• **Key Words** : 연구 및 교육, 사물인터넷, 이동형 통신기기, 페이지, 사출 성형, 페이지, 융합교육

Abstract This study is a case study of the research study and education with high school students of natural sciences. Recent development of the Internet of Things (IoT) based on the subject of various studies exist. This study is one of the most portable communication devices of these infancy, yet students were easy to define the molding process of contacting a pager that can go along way in making research topics. We called a pager. Today, it is given a large and complex smart mobile communication devices that can be used for big data. Prior pagers are taught the meaning of the first mobile communication means in our lives were given device. The internal structure is relatively simple and is thought to function relatively simple, just suitable as a teaching practices of high school students with an interest in science and engineering universities. This study can see all of the mechanical, electronic information contents of the radio pager in a relatively simple analysis of the injection molding ONE CAVITY analysis. Furthermore, the students also rated good educational practices that give meaning to remind the convergence training on mass production and process automation.

• **Key Words** : Research & Education, IoT, Wireless device, Pager, Mold injection, Convergence education

*교신저자 : 이정익(jilee@inhac.ac.kr)

접수일 2015년 4월 27일

수정일 2015년 6월 29일

게재확정일 2015년 8월 20일

1. 서론

사물인터넷[9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]의 초기 단계의 이동 통신기기로 사용되던 호출기는 작고 가벼우면서 여러 사람이 즐겨 사용하였다. 하지만, 이 호출기 다양한 디자인이 존재하였지만 그 제작방법에 대한 플라스틱 사출 성형[1, 2, 3]의 사례연구는 지금까지 많이 이루어지지 않았다. 본 연구의 선정배경은 주변에서 쉽게 구할 수 있으면서 현재는 이공계 계통의 고등학생들도 융합교육의 일환으로 대량생산과 생산자동화에 대한 복잡한 무선 이동 디바이스[9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]를 연구하기 위한 초보 연구로 호출기의 해석 주제를 정하게 되었다.

플라스틱 사출제품의 해석 목적은 양산 금형을 생산하기 전 성형해석 가운데 결합발생 요인을 정확히 진단하여 양산시 성형의 완성도를 높이기 위함을 목적으로 한다. 본 연구과제에 임함에 있어 호출기 케이스를 플라스틱 사출성형으로 만들어내기 전에 어떤 조건으로 사출할 경우 실물과 유사한 결과의 해석결과를 얻을 수 있을 것인가라는 의문을 가지고 연구하게 되었다. 해석의 조건은 호출기 외관상 특별한 점이 없고 평이한 수치로 생각되어 이 경우 일반적으로 사용되는 사출시간 1 sec, HF066 계열에 60 °C 금형온도로 가정하여 해석하였다. 이러한 기준은 유사형상의 해석에서 사용되었던 가정[2, 3, 4]을 그대로 이용한 것이다. 또한, 제품 표면에서 알 수 있듯이 LCD 계기판 상단부에 흔적으로 알 수 있는 핀 게이트로 가정하였다.[4, 5, 6]

사출성형이란 레진(resin)에 열을 가하여 가소화시켜서 유압으로 용융수지를 틀(금형)에 충전시켜 제품을 만들어내는 것을 말한다. 사출성형 공정의 시뮬레이션은 짧은 시간에 저비용으로 여러 가지 설계 및 재료와 공정 조건의 조합을 실험할 수 있는 수단이다. 실제 금형을 가공하고 시제품을 생산하기 전에 미리 해석을 수행함으로써 설계의 오류 및 부적절한 공정조건의 설정을 방지할 수 있다.[7, 8] 컴퓨터 시뮬레이션은 공정변수들이 성형품의 품질, 비용과 성능에 미치는 영향에 관한 정보를 제공해줌으로써 적절한 공정조건에 의한 사출성형을 가능하게 해주는 것을 말한다.

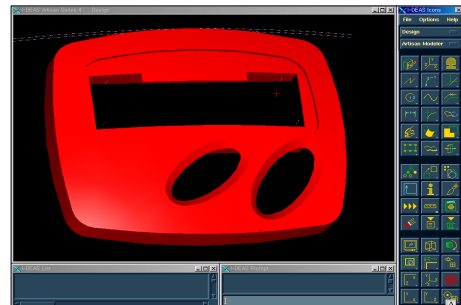
본 연구에 사용된 사출성형 해석 프로그램은 CAPA Win. 5.0 버전을 사용하였으며 금형내의 수치흐름의 유동을 통한 충전해석, 냉각해석, 보압해석, 휨 해석이 가능하다. 충전해석을 수행하여 충전패턴과 시간의 관계를 통해 유동선단의 진행모습, 압력분포와 시간의 관계에서

압력분포, 온도분포와 시간의 관계에서 평균온도의 분포, 웰드라인(weld line) 및 유동선단의 면적 및 속도를 알 수 있다. 냉각해석을 통해 냉각 회로설계가 가능하며, 보압해석을 통해 최대 수축률과 보압과정 중 스프루, 게이트 및 캐비티에서의 압력분포를 파악할 수 있다. 또한, X, Y, Z, 3축 방향의 휨 해석을 통해 각축으로의 최대 휨 량을 미리 예측할 수 있는 시스템으로 사출불량에 대한 조기 진단 및 대책 수립이 가능한 해석 소프트웨어이다.

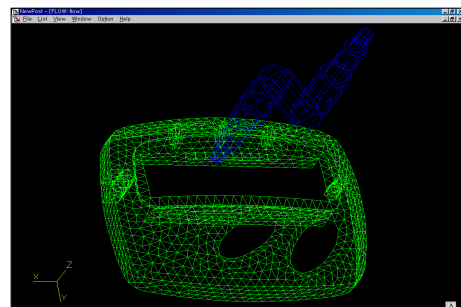
2. 해석 및 고찰

2.1 모델러

실제 형상을 3차원으로 모델링하여 해석에 필요한 입력 파일을 생성시키는 과정이다. 사출 성형 해석 가운데 많은 시간과 노력이 필요한 부분이다. [Fig. 1]의 (a)는 3차원 CAD프로그램인 I-DEAS에서 만든 모델링 형상과 일이며 (b)는 CAPA에서 표면을 추출한 IGES 파일로 생성된 element형상이다.



(a) 3D modeling shape by I-DEAS

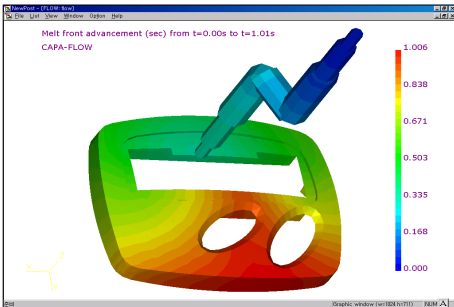


(b) Element made by IGES file in CAPA

[Fig. 1] Modeler of pager

2.2 해석조건

호출기의 사출성형 해석에 사용된 조건은 기존의 유사 호출기 형상의 제작에 사용된 사출조건을 참고[2, 3, 4]로 사출시간은 1.0 sec, 수지온도는 205 °C, 사용수지는 제일모직의 STAREX HF06601을 사용하였다. [Fig. 2]는 금형의 게이트(gate) 위치와 제품의 살 두께를 나타낸 그림이며 총 1개의 게이트에 핀 포인트 게이트의 2단 금형 구조로 가정하고 해석하였다.



[Fig. 2] The gate position and thickness of modeler

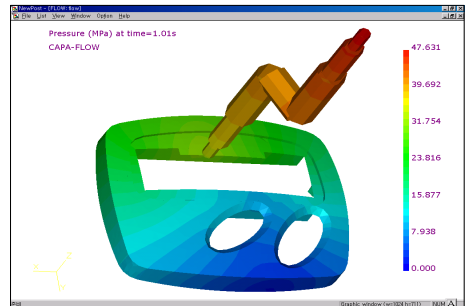
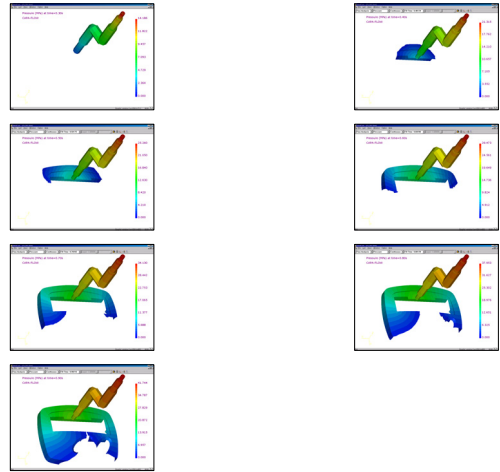
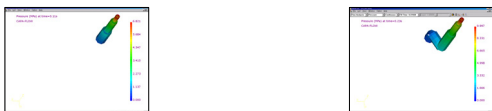
2.3 충전해석의 정의 및 해석

금형에 수지가 어떤 순서로 채워지느냐에 대한 해석이다. 사출성형품의 특성은 기본적으로 어떻게 성형되느냐에 따라 다르게 나타난다. 같은 도면, 같은 재료로 된 두개의 성형품 일지라도 각기 다른 조건에서 성형된다면 응력 및 수축의 정도가 다른 성형품이 될 수가 있다. 이것은 두 성형품이 사출과정 동안 서로 어떻게 거동하느냐에 따라 차이를 의미한다. 그러므로, 어떤 상태로 수지가 금형내로 주입되느냐는 성형 품의 품질을 결정하는데 아주 중요한 요인이 된다.

본 해석의 결과 충전해석[3, 4, 5]을 통해 충전패턴, 압력분포, 온도분포, 웰드라인의 위치, 유동선단의 시간당 면적과 속도의 관계를 그래프로 나타내었다.

2.3.1 충전패턴

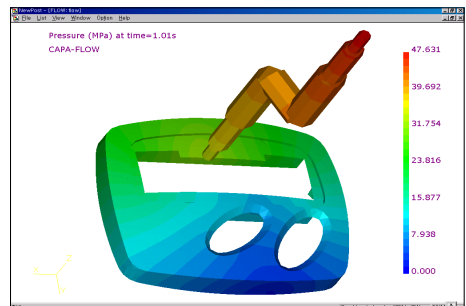
1 sec 시간 동안의 사출을 0.1 sec 간격으로 조사한 그림[3, 4, 5]을 [Fig. 3]에 나타내었다.



[Fig. 3] Filling pattern(per 0.1 sec)

2.3.2 압력분포

시간에 따른 압력분포[4, 5, 6]를 [Fig. 4]에 나타내었다. 최대 사출압이 약 48 MPa이며, 우측 하단부가 0.0 MPa로 제일 늦게 충전되는 부분으로 생각할 수 있다.

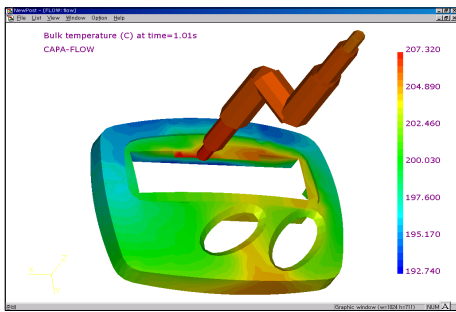


[Fig. 4] Shaded contour of pressure distribution

2.3.3 온도분포

시간에 따른 온도분포[4, 5, 6]를 [Fig. 5]에 나타내었

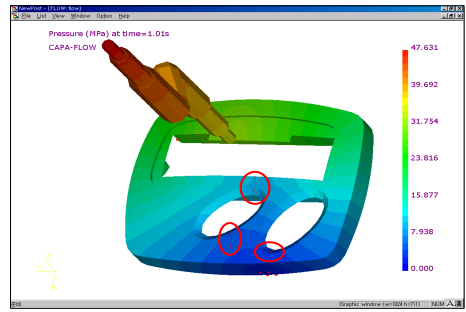
다. 충전이 완료 전까지 최대 온도 편차는 약 15 °C를 보이며 제품의 살 두께가 얇고 보스부위가 많은 위 부분에서 상대적으로 빠른 냉각속도를 보여주고 있다. [Fig. 5]의 온도분포에서 보듯이 최고온도 분포는 207.32 °C로 수지온도(금형온도는 60 °C) 205 °C 이상을 보여줌을 알 수 있는데 이는 사출기의 노즐에서 가장 가까운 스프루, 러너 등은 금형온도 내 캐비티에 비해 평균적으로 약 10~20 °C 이상 높은 온도를 보여준다는 이론적 근거를 뒷받침 해주는 내용이다.



[Fig. 5] Shaded contour of temperature distribution

2.3.4 웰더라인 위치

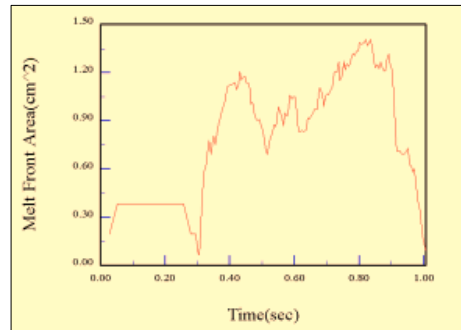
웰더라인이란 용융수지가 게이트를 통과하고 캐비티 내에서 흐름이 분기되었다 만나면서 서로 완전히 융합되지 못하고 실 모양의 가는 선이 사출물 표면에 나타나는 현상을 말한다. 충전과정 중 유동선단이 만나면서 생기는 웰드라인[5, 6, 7]의 분포를 [Fig. 6]에 나타내었다. 그림에서 붉은색 원으로 표시된 부분이 웰드라인의 발생위치이다. 이러한 웰드라인은 [Fig. 6]과 같이 국부적으로 발생하거나 크기가 작을 경우 양산중에 큰 문제점 없이 나타날 수도 있으나 일반적 사출성형 해석을 통해서 웰드라인의 예상지점을 예측하는 해석으로 사용되고 있다. 웰드라인 또한 결함이므로 이를 근원적으로 없애기 위해서는 [Fig. 6]과 같이 홀을 낸 부분에는 캐비티 안쪽 면에 보스를 대거나 금형에 가스빼기를 해주어 제거하는 방법이 있다.



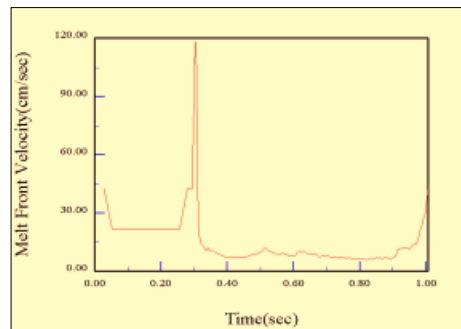
[Fig. 6] The positions of weld line

2.3.5 유동선단의 면적 및 속도

시간당 유동선단의 면적과 속도를 [Fig. 7]에 나타내었다. 충전시간이 0.3 sec 부근에서 유동선단의 면적이 최소화(게이트 통과지점)되고 속도가 최대값을 나타내므로 게이트로부터 빠르게 유동이 진전됨을 알 수 있다. 충전이 완료되기까지 비교적 균일한 분포를 보이고 있으며 동일시간대의 유동선단 면적과 속도를 곱하면 유량이 되며 현재 모델의 경우 동일한 유량으로 가정하여 충전한 결과를 나타낸 것이다.



(a) Melt front area vs time

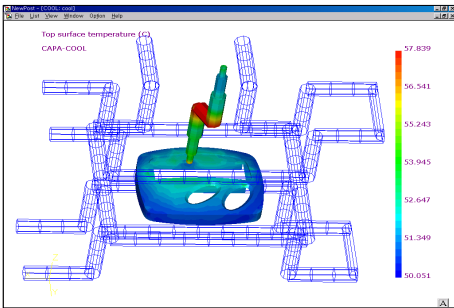


(b) Melt front velocity vs time

[Fig. 7] Melt front area and velocity with time

2.4 냉각해석의 적용

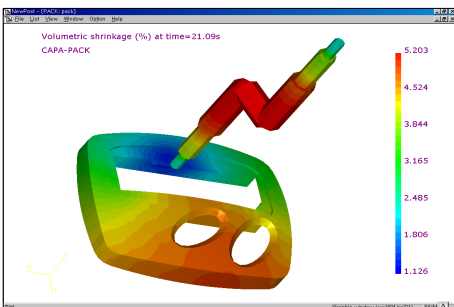
수지가 급형을 다 채우면 본격적인 냉각공정이 시작되며 이때, 급형내의 일정량 수지는 고화되며 부피가 줄어들게 되므로 밀도는 서서히 증가 하게 되는데, 이를 성형품의 수축이라 하며 최종 적으로 급형보다 약간 수축된 형상의 성형품을 얻게 된다. [Fig. 8]은 냉각채널이 설치된 가상의 냉각공정[4, 5, 6]에서 수지의 온도관계를 표시한 그림이며 냉각채널의 온도는 50 ℃로 고정하여 해석했다.



[Fig. 8] The shape of cooling process

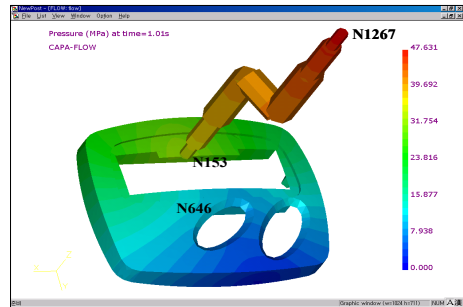
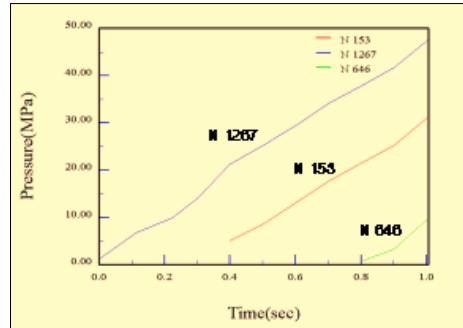
2.5 보압해석의 결과 및 압력분포

충진공정을 통해 급형 내부로의 수지 충전이 완료되면 지속적인 냉각과 압력강하에 의하여 수지의 수축 현상이 생기게 된다. 이러한 수축 현상으로 인해 원하는 치수의 최종제품을 얻기가 어렵게 되며, 이러한 수축현상을 보완하기 위해 보압공정[4, 5, 6]이 필요하게 된다. [Fig. 9]에 시간에 따른 캐비티 두께 방향으로의 평균 수축률을 나타내고 있다. 최대 수축률은 약 5.2 % 정도이다. 이 값은 런너 시스템을 포함한 값이다. 게이트 주위의 두께가 얇은 경우 수축량 또한 적으며 두께가 두껍거나 게이트에서 먼 경우 수축량이 큰 값을 보임을 알 수 있다.



[Fig. 9] The volumetric shrinkage of packing analysis

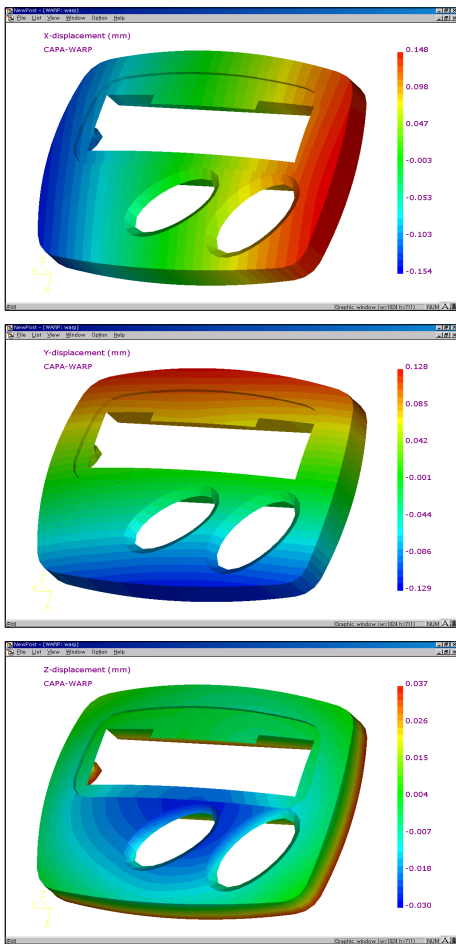
보압과정 가운데 스프루, 게이트 및 캐비티와 같은 중요 위치에서의 압력분포를 [Fig. 10]에 나타내었다. N1267 선은 수지 주입구, N153 선은 게이트, N646 선은 성형품에서의 압력을 나타낸 것이다. 게이트에서 압력값이 가장 크며 게이트에서 멀어질수록 작아짐을 선도를 통해 확인할 수 있다. 3개선의 전체적인 경향은 유사함을 알 수 있다.



[Fig. 10] The pressure distribution on the specific nodes

2.6 휨 해석의 정의와 각 방향의 휨 크기

휨이란 성형품의 외곽면이 설계상의 의도한 모양과 다르게 뒤틀리는 현상을 통칭하여 말한다. 휨[4, 5, 6]은 성형된 제품의 부위별 수축 차이에서 발생한다. 만일, 성형품의 전체 부위에서 수축이 균일하게 일어난다면 휨이나 변형은 발생하지 않는다. 단지, 크기만 작아질 것으로 생각한다. [Fig. 11]은 각각 X, Y, Z 방향으로의 휨 해석 결과를 나타낸 그림이다. X방향은 최대 변형량이 0.14 mm, Y방향은 0.12 mm, Z방향은 0.037 mm 로 두께방향에서는 미소한 변형이 일어남을 알 수 있다.



[Fig. 11] The warping analysis of 3 axes

3. 해석에 따른 결론

사출물의 3차원 모델링 후 이를 사출성형 해석하여 유동해석, 냉각해석, 보압해석, 휨 해석을 통해 플라스틱 사출 생산에 대한 전반적인 이해가 가능하게 되었으며 본 해석을 통해 다음과 같은 사실을 알게 되었다.

1. 충전해석을 통해 캐비티 내에서 수지의 압력분포, 온도분포, 웰더라인의 위치 고려로 미성형의 위치 예상 지점을 미리 예측하게 되었다. 역시 전면부의 흠이나 보스가 많은 부분에서 미성형이 발생할 가능성이 높음을 알 수 있었다. 만일 설계수정을 해야 할 경우 축대칭으로 beeper 버튼을 설치하거나 비대칭인 경우 캐비티 내에 보

스나 리브를 대는 방지설계가 수반되어야 웰더라인을 방지할 수 있다.

2. 냉각라인의 위치 선정이 보압의 해석과도 같이 수지의 수축 및 부피 변화에 밀접한 영향을 줄을 냉각 해석을 통해 알 수 있었다.
3. 보압해석을 통해 최대 수축률이 5.2 % 정도임을 알 수 있었고 이는 전체 캐비티 두께 3T에 비해 30 % 미만이므로 무시할 수 있는 수축률로 보압해석이 잘 수행되었음을 알 수 있었다. 또한, 게이트 부위가 수지 주입구 및 캐비티에 비해 시간당 압력이 가장 높았다.
4. 휨해석을 통해 최대 휨은 X, Y, Z축 모두 캐비티 살 두께인 3T(3 mm)내에 들었고 조립이나 양산에는 아무런 문제가 없으므로 초기 가정에 의한 사출성형 해석이 올바르게 수행되었음을 알 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 압구정고등학교 제7기 2015학년도 R&E 연구과제수행의 일환으로 “생산자동화 현장에 유용한 디바이스 개발”에 대한 연구내용의 논문입니다. 멘토인 이정익 교수를 중심으로 압구정고 2학년 이준범, 임정현, 장재원 학생과 1학년 정효중, 박상준, 민동연, 원세연 학생들과 공동 수행된 연구입니다.

REFERENCES

- [1] J. R. Park and H. S. Lee, “An Experimental Study of In-Mold Coating of Automotive Armrests”, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 39, No. 7, pp. 687-692, 2015.
- [2] J. T. Jung and B. K. Lee, “Numerical Analysis of Mold Deformation Including Plastic Melt Flow During Injection Molding”, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 38, No. 7, pp. 719-725, 2014.
- [3] M. A. Lee and M. Y. Lyu, “A Study on the Part Shrinkage in Injection Molded Annular Shaped Product for Glass Reinforced Polycarbonate”, *Jol. Elastomers and Composites*, Vol. 48, No. 4, pp. 300-305, 2013.

- [4] B. G. Park, S. W. Park, D. K. Park, S. Y. Kim, J. O. Jeong and J. K. Jang, "Metal Injection Molding Analysis of WGV Head in a Turbo Charger of Gasoline Automobile", Transactions of KSAE, Vol. 23, No. 4, pp. 388-395, 2015.
- [5] B. Dhungana and Y. G. Son, "Study on Graphite/Polypropylene/Liquid Crystalline Polymer Composite for a Bipolar Plate of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell", Jol. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 5, pp. 3627-3632, 2015.
- [6] C. H. Park, H. J. Ahn, D. H. Choi and B. G. Pyo, "Two-stage Design Optimization of an Automotive Fog Blank Cover for Enhancing Its Injection Molding Quality", Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol. 34, No. 8, pp. 1097-1103, 2010.
- [7] M. Gruber, "Method for Producing a Coated Composite Component", KraussMaffei Technologies, US Patent, No. 0243148, 2009.
- [8] H. S. Lee and D. M. Kim, "A Study on the Cavity Pressure and Mixing Characteristics in in-mold Coating Processes", Proc. KSMTE, pp. 152, 2014.
- [9] J. I. Kim and N. H. Kang, "Secure Configuration Scheme of Pre-shared Key for Lightweight Devices in Internet of Things", Jol. of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 15, No. 3, pp. 1-6, 2015.
- [10] T. K. Kim, "Tourism Information Reservation System considering the Security and Efficiency", Jol. of the Korea Society of Digital Industry and Information Management, Vol. 11, No. 2, pp. 67-72, 2015.
- [11] H. W. Joo and Y. H. Ryu, "Efficient Packet Transmission Utilizing Vertical Handover in IoT Environment", Jol. of Korea Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 42, No. 6, pp. 807-816, 2015.
- [12] S. C. Noh and S. J. Yoo, "A Building Method of Infrastructure Efficiency under Ad Hoc-based on Network Infrastructure for Medical Information System, Jol. of Convergence Security, Vol. 11, No. 3, pp. 91-98, 2011.
- [13] S. S. Park and C. S. Park, "Features of Information Systems Security Strategies Affecting Their Successful Implementation in Organizations", Jol. of Convergence Security, Vol. 8, No. 3, pp. 101-106, 2008.
- [14] H. W. Kim, J. K. Kim, C. H. Shin and K. S. Joo, "Development of Touring Information Guidance System Using Database", Proceedings of the Korean Institute of Information and Communication Sciences Conference, pp. 218-223, 1999.
- [15] M. G. Choi, W. J. Hwang and M. S. Kim, "Decision on Replacing Components of Security Functions in COTS Based Information Systems in Security Environment Utilizing AHP, Jol. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 10, No. 3, pp. 579-588, 2009.

저자소개

이 정 익(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, 사물인터넷, MEMS, BIOMECHANICS