

## CAE와 실험계획법을 연계한 사출 성형 시스템 최적화에 관한 연구

오정열<sup>1</sup>, 허용정<sup>1\*</sup>

### A Study on Optimization of Injection-molded System Using CAE and Design of Experiment

Jung-Yeol Oh<sup>1</sup> and Yong-Jeong Huh<sup>1\*</sup>

**요약** 사출 성형 공정은 저비용으로 고품질의 제품을 대량으로 얻을 수 있는 제조 공정이지만, 성형품의 품질에 영향을 주는 인자의 수가 너무 많아 모든 경우에 대하여 실험을 수행하는 것은 시간적, 경제적으로 불가능하다. 따라서 최근에 시뮬레이션 도구를 활용하여 이러한 실험을 보조하고 있고, 실험계획법 및 여러 가지 최적화 기법들이 다루어지고 있다. 인자수가 많은 경우 각 입력인자 간의 교호작용 등도 고려하면서도 실험 횟수를 줄이는 기법으로 정립된 실험계획법을 적용하여 시뮬레이션 소프트웨어를 이용한 모의 실험 데이터를 도출하였으며, 이를 바탕으로 주변의 잡음에서도 강건한 설계를 할 수 있는 다구찌 기법을 사출 성형 공정에 적용하여 최적의 사출 성형 공정 조건을 나타내었다.

**Abstract** Injection molding process is the manufacturing process that can obtain a high quality products in large quantity to a low cost. Since there are many input factors in every situation that can influence part's quality, the method is difficult to save the exact simulation data. Latest, it deals with the CAE method that supports the experiment, it is applied to the Design of Experiment for the optimum injection molding process. If there are many factors, the interaction among those factors must be considered by applying Design of Experiment which is taken from the technique of minimizing the number of experiment. Without a real test, it is taken the simulation data using Moldflow<sup>®</sup> software. Moldflow<sup>®</sup> is used for the analysis of injection molding process, it is analyzed the factors that affect a warpage using the Taguchi method and then the optimal injection molding process is obtained.

**Key Words** : CAE, Injection molding process, Taguchi method, Warpage, S/N ratio, Optimization

### 1. 서론

사출 성형품의 개발 과정은 개발제품의 설계, 금형설계, 금형가공 및 시사출 등의 과정을 거쳐서 개발되는데, 금형을 가공하기 전에 제품설계나 금형설계의 타당성을 공학적으로 검증할 필요가 있다. 지금까지는 설계자의 경험에 의존하였고, 또한 제품이나 금형설계의 미비점은 시사출을 하고 난 후에 알 수 있어 설계의 잘못을 수정하는

데 많은 시간과 비용이 소요되고 있다.<sup>[1]</sup> 하지만 사출성형 해석용 소프트웨어가 개발된 이후로는 제품설계나 금형설계 단계부터 동시에 적용하여 미리 발생할 수 있는 문제점을 해결함으로써 개발시간과 비용을 절약할 수 있게 되었다.<sup>[2]</sup>

그러나 설계시에 이러한 사항을 충분히 고려하더라도 양산현장에서는 기계 간의 변동, 공정 변수 등 잡음요인(noise)으로 인하여 제품 간 성능 특성이 서로 달라질 수 있다. 이를 최소화하기 위해서 설계 단계에서 제품의 잡음에 대한 신뢰도와 안정성을 얻기 위해 많은 노력이 필요하게 된다.<sup>[3]</sup> 즉, 제품 및 공정설계 단계에서 설계 변수뿐만 아니라 잡음 인자를 고려하여 제품의 특성이 잡음 인자에 대하여 강건한 품질을 유지하도록 설계 변수들의

본 연구는 산업자원부지방기술혁신사업(RTI04-01-02) 지원으로 수행되었음.

<sup>1</sup>한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

\*교신저자: 허용정(yjhuh@kut.ac.kr)

값을 결정하는 강건설계(robust design)기법이 요구된다.<sup>[4]</sup>

본 연구에서는 사출성형 해석 상용 소프트웨어인 Moldflow<sup>®</sup>와 강건설계 기법인 다구찌 기법(Taguchi method)을 적용하여 사출성형 공정의 최적화를 도모하고자 한다.

## 2. 최적 공정 조건 도출을 위한 다구찌 실험계획

### 2.1 해석 모델

본 연구의 대상 제품은 RC(remote control)비행기 battery 케이스로 정밀 사출성형 공정을 통하여 제조된다. 이 제품은 0.3mm의 얇은 두께의 제품으로 사출성형 시 수축(shrinkage), 변형(warpage), 미성형(short shot) 등의 성형 불량률이 많이 발생된다.<sup>[5]</sup>

그림 1은 배터리 케이스의 기하학적 모델과 치수를 나타내고 있다.

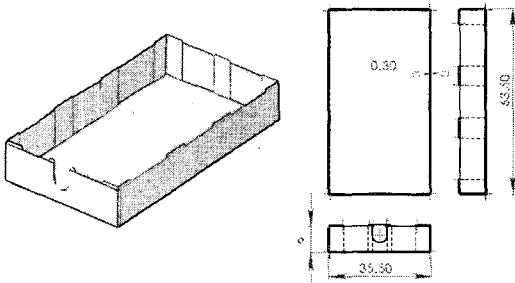


그림 1. 배터리 케이스 사출부품

### 2.2 사출 성형 재료

제품의 특성상 요구되는 강성 및 성질을 만족하기 위해 성형재료는 LG화학의 LUPOY HI-1002 PC(polycarbonate) 수지가 사용된다. PC수지는 기계적 성질, 내연성, 내한성, 전기적 성질 등을 고루 갖추고 있는 엔지니어링 플라스틱의 대표적인 소재로 넓은 온도 범위에서 높은 인장강도 및 탄성률을 유지하며, 특히 90℃이상의 온도 영역에서 고유의 우수한 강도를 유지한다.<sup>[6]</sup> 또한 다른 엔지니어링 플라스틱에 비하여 성형 수축률이 매우 적고, 사출품의 형상변화가 매우 적어 정밀 사출품의 성형에 좋다.

표 1은 LG LUPOY HI-1002 수지의 성형 조건이다.

표 1. 성형조건(LG LUPOY HI-1002)

|                | Conditions |
|----------------|------------|
| Drying temp.   | 100~120(℃) |
| Drying time    | 3~5(hrs)   |
| Cylinder temp. | 280~310(℃) |
| Nozzle temp.   | 280~310(℃) |
| Melt temp.     | 280~310(℃) |
| Mold temp.     | 70~90(℃)   |
| Screw rpm      | 40~70(rpm) |

### 2.3 인자 및 수준의 결정

성형품의 품질 특성치에는 치수, 강도 등 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 사출성형 후 변형으로 정하였다.

제어인자에는 금형온도, 수지온도, 사출압력, 보압, 보압시간, 냉각시간을 선정하였으며, 각 인자에 대한 수준은 표 1의 수지 성형 조건을 바탕으로 요구되는 성형 범위 한계 내에서 표 2와 같이 각각 3수준으로 정하였다. 잡음인자는 실제 공정을 장기간 운용시 세팅한 각 제어인자의 값이 명목치를 유지하지 못하고 산포하는 것으로 하였다. 표 3은 각 잡음인자의 수준 내용이 주어졌다.

표 2. 제어인자 및 수준

| Control factors       | Level  |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|
|                       | 1      | 2      | 3      |
| Mold temp.(A)         | 70℃    | 80℃    | 90℃    |
| Melt temp.(B)         | 280℃   | 295℃   | 310℃   |
| Injection pressure(C) | 230MPa | 250MPa | 270MPa |
| Packing pressure(D)   | 250MPa | 275MPa | 300MPa |
| Packing time(E)       | 3s     | 6s     | 9s     |
| Cooling time(F)       | 4s     | 8s     | 12s    |

표 3. 잡음인자 및 수준

| Noise factors          | Level |       |
|------------------------|-------|-------|
|                        | 1     | 2     |
| Mold temp.(A')         | -3℃   | +3℃   |
| Melt temp.(B')         | -5℃   | +5℃   |
| Injection pressure(C') | -4MPa | +4MPa |
| Packing pressure(D')   | -6MPa | +6MPa |
| Packing time(E')       | -1s   | +1s   |
| Cooling time(F')       | -1s   | +1s   |

2.4 직교배열표를 이용한 실험

제어인자를 배치하기 위한 내측직교표는  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ , 잠음인자를 배치하기 위한 외측직교표는  $L_8(2^7)$ 을 선정하여, 표 4 와 같이 제어인자와 잠음인자를 할당하였다.

실험 조건은 총  $18 \times 8 = 144$  가지로서, 예를 들어 실험조건 (45)는 제어인자 ( $A_3, B_3, C_1, D_1, E_2, F_2$ ), 잠음인자 ( $A'_2, B'_1, C'_2, D'_1, E'_2, F'_1$ )로 금형 온도 ( $A$ )는  $90+3=93^\circ\text{C}$ , 수지온도 ( $B$ )는  $310-5=305^\circ\text{C}$ , 사출압력 ( $C$ )은  $230+4=234\text{MPa}$ , 보압 ( $D$ )은  $250-6=246$

MPa, 보압시간 ( $E$ )은  $6+1=7$ 초, 냉각시간 ( $F$ )는  $8-1=7$ 초가 된다.

각 실험조건을 Moldflow<sup>®</sup>의 입력 변수로 지정하여 해석 수행 결과, 성형품의 여러 부위 중 변형이 가장 많은 부분은 4곳으로 case의 모서리 부분이였다. 이는 변형의 최고값으로 4곳 모두 동일한 결과값임을 알 수 있었다.

표 4를 바탕으로 한 실험 결과표는 표 5에서 나타내었다.

표 4. 제어 및 잠음인자의 직교레이블

|           |   |   | A | B | C | D | E | F |       |       |       |       |       |       |       |       |  |           |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-----------|
|           |   |   |   |   |   |   |   |   | 1     | 1     | 1     | 1     | 2     | 2     | 2     | 2     |  | <b>A'</b> |
|           |   |   |   |   |   |   |   |   | 1     | 1     | 2     | 2     | 1     | 1     | 2     | 2     |  | <b>B'</b> |
|           |   |   |   |   |   |   |   |   | 1     | 1     | 2     | 2     | 2     | 2     | 1     | 1     |  | <b>C'</b> |
|           |   |   |   |   |   |   |   |   | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     |  | <b>D'</b> |
|           |   |   |   |   |   |   |   |   | 1     | 2     | 1     | 2     | 2     | 1     | 2     | 1     |  | <b>E'</b> |
|           |   |   |   |   |   |   |   |   | 1     | 2     | 2     | 1     | 1     | 2     | 2     | 1     |  | <b>F'</b> |
|           |   |   |   |   |   |   |   |   | 1     | 2     | 2     | 1     | 2     | 1     | 1     | 2     |  |           |
| <b>1</b>  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | (1)   | (2)   | (3)   | (4)   | (5)   | (6)   | (7)   | (8)   |  |           |
| <b>2</b>  | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | (9)   | (10)  | (11)  | (12)  | (13)  | (14)  | (15)  | (16)  |  |           |
| <b>3</b>  | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | (17)  | (18)  | (19)  | (20)  | (21)  | (22)  | (23)  | (24)  |  |           |
| <b>4</b>  | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | (25)  | (26)  | (27)  | (28)  | (29)  | (30)  | (31)  | (32)  |  |           |
| <b>5</b>  | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | (33)  | (34)  | (35)  | (36)  | (37)  | (38)  | (39)  | (40)  |  |           |
| <b>6</b>  | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | (41)  | (42)  | (43)  | (44)  | (45)  | (46)  | (47)  | (48)  |  |           |
| <b>7</b>  | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | (49)  | (50)  | (51)  | (52)  | (53)  | (54)  | (55)  | (56)  |  |           |
| <b>8</b>  | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | (57)  | (58)  | (59)  | (60)  | (61)  | (62)  | (63)  | (64)  |  |           |
| <b>9</b>  | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | (65)  | (66)  | (67)  | (68)  | (69)  | (70)  | (71)  | (72)  |  |           |
| <b>10</b> | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | (73)  | (74)  | (75)  | (76)  | (77)  | (78)  | (79)  | (80)  |  |           |
| <b>11</b> | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | (81)  | (82)  | (83)  | (84)  | (85)  | (86)  | (87)  | (88)  |  |           |
| <b>12</b> | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | (89)  | (90)  | (91)  | (92)  | (93)  | (94)  | (95)  | (96)  |  |           |
| <b>13</b> | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | (97)  | (98)  | (99)  | (100) | (101) | (102) | (103) | (104) |  |           |
| <b>14</b> | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | (105) | (106) | (107) | (108) | (109) | (110) | (111) | (112) |  |           |
| <b>15</b> | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | (113) | (114) | (115) | (116) | (117) | (118) | (119) | (120) |  |           |
| <b>16</b> | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | (121) | (122) | (123) | (124) | (125) | (126) | (127) | (128) |  |           |
| <b>17</b> | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | (129) | (130) | (131) | (132) | (133) | (134) | (135) | (136) |  |           |
| <b>18</b> | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | (137) | (138) | (139) | (140) | (141) | (142) | (143) | (144) |  |           |



표 7. S/N 비에 대한 응답테이블

| Factors | Mean S/N ratio (dB) |         |         |         |      |
|---------|---------------------|---------|---------|---------|------|
|         | Level 1             | Level 2 | Level 3 | Max-Min | Rank |
| A       | 10.953              | 10.750  | 10.254  | 0.699   | 2    |
| B       | 10.685              | 10.678  | 10.593  | 0.092   | 5    |
| C       | 10.702              | 10.596  | 10.658  | 0.106   | 4    |
| D       | 12.026              | 10.606  | 9.324   | 2.702   | 1    |
| E       | 10.601              | 10.725  | 10.631  | 0.124   | 3    |
| F       | 10.686              | 10.654  | 10.617  | 0.068   | 6    |

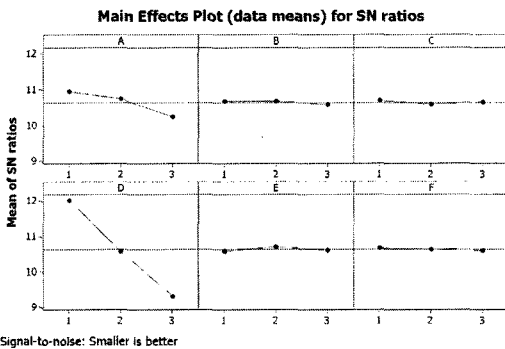


그림 2. 수준에 따른 S/N 비 그래프

S/N비에 대한 요인별 분산분석 결과가 표 8에 주어졌으며, 표 9는 제어인자 중 기여율이 낮은 인자에 대해 풀링(pooling)을 한 후의 분산분석 결과이다. 표 9의 분산분석표에서 제어인자의 기여율을 고려해 보면 보압 ( $D$ )이 사출성형품의 변형에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 총변동량의 92.3%를 차지하고 있다. 그 다음이 금형온도 ( $A$ )로 6.4%로 나타났다. 수지온도 ( $B$ ), 사출압력 ( $C$ ), 보압시간 ( $E$ ), 냉각시간 ( $F$ )은 S/N비에 대한 유의한 영향을 주지 못했다.

S/N비에 유의한 영향을 주는 제어인자의 최적 수준은 S/N비를 최대로 하는 수준이다.<sup>[8]</sup> 또한 유의하지 않은 인자들은 생산성, 제품의 외관 등 다른 품질 특성치를 고려하여 작업자가 판단할 수 있다. 따라서 battery 케이스의 사출성형에서 최적 공정조건은 표 9와 그림 2로부터 변형과 생산성을 고려하여 판단하였다. 표 5에서 보이듯 제어인자를 모두 1수준으로 할 경우 기계의 변동 오차에 의해 미성형이 2번이나 발생하였다.

따라서 사출성형 최적 공정조건은 미성형에 영향을 주는 수지온도 ( $B$ )를 2수준으로 하여 ( $A_1, B_2, C_1, D_1, E_1, F_1$ )로 선택하였다.

표 8. S/N 비의 분산분석

| Factors | DF( $\phi$ ) | SS ( $S$ ) | MS ( $V$ ) | $F_0$  | $p$ -value | $S^*$   | Contribution (%) |
|---------|--------------|------------|------------|--------|------------|---------|------------------|
| A       | 2            | 1.5516     | 0.7758     | 33.01  | 0.001      | 1.5046  | 6.3434           |
| B       | 2            | 0.0314     | 0.0157     | 0.67   | 0.553      | -0.0156 | -0.0658          |
| C       | 2            | 0.0339     | 0.0169     | 0.72   | 0.531      | -0.0131 | -0.0552          |
| D       | 2            | 21.9202    | 10.9601    | 466.38 | 0.000      | 21.8732 | 92.2177          |
| E       | 2            | 0.0501     | 0.0250     | 1.07   | 0.412      | 0.0031  | 0.01307          |
| F       | 2            | 0.0144     | 0.0072     | 0.31   | 0.75       | -0.0326 | -0.1374          |
| Error   | 5            | 0.1175     | 0.0235     |        |            | 0.3995  | 1.4313           |
| Total   | 17           | 23.7191    |            |        |            |         |                  |

표 9. 풀링이후 S/N 비의 분산분석

| Factors | DF( $\phi$ ) | SS ( $S$ ) | MS ( $V$ ) | $F_0$  | $p$ -value | $S^*$   | Contribution (%) |
|---------|--------------|------------|------------|--------|------------|---------|------------------|
| A       | 2            | 1.5516     | 0.7758     | 43.29  | 0          | 1.5158  | 6.3906           |
| D       | 2            | 21.9202    | 10.9601    | 611.59 | 0          | 21.8844 | 92.2649          |
| E       | 2            | 0.0501     | 0.025      | 1.4    | 0.288      | 0.0143  | 0.0603           |
| Error   | 11           | 0.1971     | 0.0179     |        |            | 0.3046  | 1.2842           |
| Total   | 17           | 23.7191    |            |        |            |         |                  |

표 10. 확인실험 결과데이터

|   |   |   |   |   |   |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---|---|---|---|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2      | 2      | 2      | A'     |        |        |        |        |
|   | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1      | 2      | 2      | B'     |        |        |        |        |
|   | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2      | 1      | 1      | C'     |        |        |        |        |
|   | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2      | 1      | 2      | D'     |        |        |        |        |
|   | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1      | 2      | 1      | E'     |        |        |        |        |
|   | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2      | 2      | 1      | F'     |        |        |        |        |
| A | B | C | D | E | F |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.2152 | 0.2462 | 0.2197 | 0.2535 | 0.2223 | 0.2569 | 0.2287 | 0.2571 |

표 11. 변형에 대한 확인실험 결과

|               | Initial condition  | Optimal condition  |  |
|---------------|--|--|--|
|               |  | Prediction   | Experiment   |
| Level         | (A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> , D <sub>2</sub> , E <sub>2</sub> , F <sub>2</sub> ) | (A <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , C <sub>1</sub> , D <sub>1</sub> , E <sub>1</sub> , F <sub>1</sub> ) | (A <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , C <sub>1</sub> , D <sub>1</sub> , E <sub>1</sub> , F <sub>1</sub> ) |
| Warpage(mm)   | 0.2883   | 0.2372   | 0.2374   |
| S/N ratio(dB) | 10.7484  | 12.3851  | 12.4673  |

실제로 (A<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, E<sub>1</sub>, F<sub>1</sub>)의 공정조건에서 확인 실험을 수행한 결과, 표 10과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 확인 실험에서는 표 4의 파라미터 설계와 같은 잡음조건에서 변형을 관찰하였다. 표 11은 확인 실험의 S/N비를 계산하여 추정값과 실험값을 비교한 것이다. 확인 실험결과 S/N비와 변형은 1.72dB, 17.66% 개선되었다.

그림 3은 (A<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, E<sub>1</sub>, F<sub>1</sub>)의 공정조건에서 변형을 나타낸다.

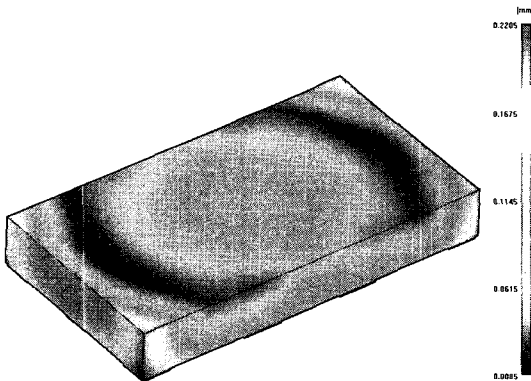


그림 3. 최적조건에서 변형분포

#### 4. 결론

본 연구는 RC 비행기 배터리 케이스를 사출성형품으로 생산하였을 때 발생하는 변형을 줄이기 위하여 모의 실험이 이루어졌으며, 결과는 다음과 같다.

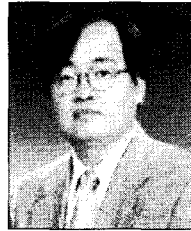
- (1) 상용 소프트웨어인 Moldflow<sup>®</sup>와 강건설계 기법인 대구찌 기법을 함께 적용하여 RC 비행기 battery 케이스에 대한 사출성형 공정의 최적 조건을 도출하였다.
- (2) 실제 공정을 장기간 운용할 경우 기계 간의 변동, 공정 변수 등으로 인하여 제어 인자의 값이 명목치를 유지하지 못하는 것을 잡음요인으로 선정. 총 144번의 실험으로 강건한 품질을 유지하도록 변수의 값을 결정하였다.
- (3) LG LUPOY HI-1002 PC수지를 소재로 한 RC 비행기 battery 케이스의 경우 사출성형품의 변형에 대한 기여율은 보압이 92.3%를 차지했으며, 금형온도가 6.4%의 영향을 차지하고 있었다.
- (4) 각 인자들의 최적 조건은 금형온도 70℃, 수지온도 295℃, 사출압력 230MPa, 보압 250MPa, 보압시간 3초, 냉각시간 4초로 나타났다.
- (5) 검증된 실험결과 변형은 기존 제품에 비하여 17.66%가 개선되었다.

## 참고문헌

- [1] 허용정, 김상국, “사출성형제품의 부형상 설계를 위한 지식형 CAD 시스템에 관한 연구”, 대한기계학회지, 제15권, 제6호, pp. 1933-1947, 1991.
- [2] Chiang, H. H., "Simulation and Verification of Filling and Post-filling Stages of the Injection-Molding Process", ph.D Dissertation, Cornell University, 1989.
- [3] Rosato, D.V. and Rosato, D.V., Injection molding handbook, Van Nostarand reinhold, New York, 1986.
- [4] 이기하, 김종원, “다구찌방법을 이용한 다축 동시 PID 제어시스템의 제어이득 조정”, 한국정밀공학회지, 제16권, 제6호, pp. 25-35, 1999.
- [5] 권태현, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득, 사출성형 CAE 설계지침, 문운당, 2001.
- [6] Manzione, L.T., Application of Computer Aided Engineering in Injection Molding, Hanser Publishers, Munich, 1987
- [7] Yang, W.H., Tarnq, Y.S.,“Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method”, Journal of Materials Processing Technology, 84, pp.122-129, 1998.
- [8] 정원제, 윤형표, 홍순국, 박익민, “실험계획법에 의한 승각기용 구동부 구조품의 다이캐스팅 탕구방안 최적화”, 한국구조공학회, 제20권, 제2호, pp. 97-103, 2000.

### 허용정(Yong-Jeong Huh)

[종신회원]



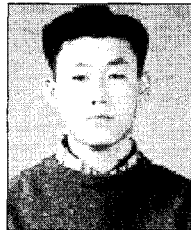
- 1980년 2월: 부산대학교 기계설계학과(공학사)
- 1982년 2월: 서울대학교 대학원 기계설계학과(공학석사)
- 1991년 2월: 한국과학기술원 기계공학과(공학박사)
- 1993년 1월~현재: 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 교수

<관심분야>

지능형 설계, 사출성형의 CAD/CAE, 기계설계, 반도체 패키징

### 오정열(Jung-Yeol Oh)

[정회원]



- 2004년 2월: 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부(공학사)
- 2006년 2월: 한국기술교육대학교 대학원 기계공학과(공학석사)
- 2006년 2월~현재: (주)우영 근무

<관심분야>

실험계획법 및 다구찌 방법에 의한 최적화설계