

가열된 열가소성 재료의 금형내부에서의 온도분포에 관한 연구

리우환* 권형정* 양희찬**

A Study on the Temperature Distribution for various
Base Materials due to the Constant Heat Input

W.H.Rheigh, H.J.K won, H.C.Yang

Abstract

A calculation method of the temperature distribution for various shape due to the constant heat input is studied in this paper.

So far, the method of try and error is carrying out on the mould design. The reason of adopting this method is due to hardly estimate the cooling system in the mould base.

As above description, the most part of the mould is supposed as a rectangular, cylindrical and triangular shape and made a governing equation of heat transfer and solved it to numerical analysis by finite-difference method(central-difference) and result follows.

$$\phi_n^{l+1} = \phi_n^{l-1} + \frac{2\Delta t}{\delta} \left\{ \frac{1}{(\Delta x)^2} \phi_{n-1}^l - \left[\frac{2}{(\Delta x)^2} + \frac{\psi}{r} \right] \phi_n^l + \frac{1}{(\Delta x)^2} \phi_{n+1}^l \right\}$$

After that in order to confirm that the temperatures are measured on different shape specimens from the part of frequent usage of which are carbon, chrome-molybden, tool and stainless steel and those were compared with the results of calculations presented in this paper.

기호설명	l : Length	(cm)
	Q : Generated heat	(cal)
C : Specific heat	r : Radius(cm)	
	T : Temperature	(°C)
K : Coefficient of heat conductivity	To : Temperature of coolant	(°C)
		(cal. cm ⁻¹ . sec ⁻¹ .c ⁻¹)

* 正會員, 東義工業專門大學

** 아세아 금형

- X : Coordinate(cm)
- γ : Specific density (kg. m⁻³)
- δ : $\gamma c/k$
- ϕ : T-To (°C)
- σ : Coefficient of heat transfer (cal. cm⁻² °C⁻¹)
- ψ : $2\sigma/K$

I. 서 론

구조용 및 기계부품을 만드는데 적합한 재료로서 지금까지는 철강재료에 주로 의존해 왔으나 1960년 미국의 듀. 폰(Du Pont)회사가 처음으로 금속에 대체할 수 있는 플라스틱 이란 명목으로 포리아세탈 호모포리마(POM)를 상품화¹⁾한 이래 엔지니어링 플라스틱 이란 말이 등장 하기 시작했다.

철강재인 경우 강도를 높이려면 인성이 줄고 인성을 높이려면 강도가 적어지는 것을 FRP란 수지의 개발로 이 결점을 해결하려고 연구중이다. 또한 자동차, 가전제품, 및 선박의 내장품등의 대량생산을 하기 위해서는 질작가공을 하는 것보다, 형제작에 의거하는 것이 보다 경제적이다. 형제작을 하기 위해서는 금형이 필요하며, 금형에 의하여 균일한 제품들을 대량으로 만들어 낼 수 있다.

열 가소성 재료의 성형에서 금형의 캐비티속으로 유입된 뜨거운 열 가소성 수지의 온도는 성형품을 뽑아내는데 모든 부분이 균등하게 빨리 냉각될 필요가 있다. 만일 캐비티 속에서 유입된 뜨거운 수지가 각부분에서 속히, 또 균등하게 냉각되지 않으면 금형이 탈혀있는 시간이 길어지고 그로인해 생산성이 저하되며, 또 금형이 너무 뜨거웠다, 차거웠다 하면 제품의 일부분 혹은 전체가 금이 가거나, 상처가 나고, 동일하게 수축되지 않고 치수 정도가 나빠진다. 혹은 웰드라인이 생긴다거나 금형이 갈라져 달라붙는 등의 위험한 문제를 일으킨다.

지금까지는 사출성형에 있어서, 필요한 성형

품을 만들기 위하여 금형을 경험과 감에 의하여 먼저 만들고, 사출성형에 없어서 성형품을 시작(try)하고, 이것을 검토해서 금형을 수정하고, 성형조건을 변경시키는 시행착오(try and error)방식을 채용해 왔었다.

그러므로 생산성의 싸이클을 높이고, 품질향상을 위해서 금형내의 냉각 해석을 정확히 할 필요성이 생긴다.

시행착오법을 계속해서 사용해야하는 가장 큰 이유는 금형내부에서의 열 전달 예측이 부정확한 것에 기인하며, 그 예측을 정확히 판단할 수 만 있다면, 생산성의 효율이 저하되는 시행착오법을 생략할 수 있다.

환언하면, 사출성형의 현황은, 수치를 사용하지 않고 경험과 감²⁾에 의거하여 피링(feeling)의 영역에 그쳤고, 이론과 수치에 의거한 엔지니어링의 영역에는 아직 우리나라에서는 도달하지 아니 했다.

이 원인은 사출성형이 고분자 물질의 비뉴턴유동이고, 그 운동은 비정상 상태³⁾이라는 현상을 취급하기 때문에 아직 학문적으로 또 기술적으로 미완성 상태이기 때문이다.

이 방면의 연구는 이제 1~2년 사이에 몇편의 논문이 보일 뿐이다. 신희철⁴⁾등은 두께방향에 따른 유동을 해석하는데 “founting effect” 및 열전달 현상을 동시에 고려하면서 진전하는 자유표면 현상을 구하였고, 이견우⁵⁾등은 플라스틱 사출금형설계를 위한 CAD시스템의 개발을 했으나, 유동해석과 냉각해석이 안 되었고 Jeong Su Yu⁶⁾등의 고분자 유동의 유입해석과 시뮬레이션이 있었다. 외국에서도 거의 지금까지 재래식 금형을 제작해 왔으며 1980년도 초 부터 사출성형의 기술이 전산기의 힘을 입어 그 기술 혁신이 일어나고 있는 단계이며, 플라스틱 성형가공의 CAD(Computer Aided Engineering)의 연구가 1986년의 LAFEUR 와 KAMAL⁷⁾ SCHMIDT⁸⁾ MAVRIDIS⁹⁾와 소련의 1983년의 KLGMAN¹⁰⁾등의 비뉴턴유체에 대한 연구, 1985년의 Douglas¹¹⁾등,

1985년의 SENATOS¹²⁾ ZAVADSKY¹³⁾ KNPPE¹⁴⁾등, KAMAL¹⁵⁾등, KRUTH¹⁶⁾등이 그 예이며 주로 수지의 유입해석에 관한 것이다.

경험과 감에 의하여 일을 해온 사출성형 업계에서도 호주의 COLIN AUSTIN¹⁷⁾이 개발한 MOLD FLOW, 코넬(CORNELL)대학의 Wang¹⁸⁾이 개발한 C-FLOW등의 유입해석 프로그램이 있고, 또 입수가 가능한 MOLD TEMP, MOLD COOL, SUMICOOL¹⁹⁾이란 명칭으로 MOLD FLOW PTY와 AEC회사에서 개발하여 판매하고 있으나, 고가이기 때문에 국내에는 아직 들어오지 않고 있다.

본 연구는 이러한 국내외의 사정하에서 CAE에 접근하기 위한 기초연구의 한 부분으로 금형재료로 주로 사용되고 있는 평강, 합금강, 공구강 및 스테인리스강 등으로 금형의 형태를 편의상 정사각주, 원주, 및 정삼각주로 대별해서 각 형태들의 열전도 및 전달방정식을 세우고 그 해를 구하기 위하여 유한차분법으로 동 방정식을 풀어 수치해석 하였다.

이와같이 이론해석한 수치를 실용 가능한가를 검증하기 위해서 게이트로 들어가는 수지의 온도는 일정하다고 봐서 상술한 형태의 시편을 제작하여 일정한 열량이 입력될 때 각부의 온도를 다점식 온도기록계로, 측정하여 계산치와 실험치를 비교검토 하였다.

II. 지배방식

금형내에 들어가는 수지온도는 균일하게 분포되어 있고, 수지비열 및 열전도율은 온도에 따라 불변하며 금형내의 온도는 항상 일정하다는 가정하에, 금형의 게이트에서 Q란 열량이 들어가고 그Q의 얼마간의 열량이 그 주위에 있는 냉각체에 빼앗기고, 그 나머지의 열이 배면으로 전도 된다고 생각한다. Fench와 Rosenow²⁰⁾에 의하면 600°C미만의 경계면 온도범위에서는 복사에 의한 효과는 전체 전 열

량의 약1%미만으로 나타나므로 무시한다.

한변이 2r이고 길이가 1인 정사각의 미소거리 dx인 곳에서의 비정상상태의 전열방정식

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{2\sigma}{Kr} (T - T_0) = \frac{\gamma c}{K} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

$\frac{\gamma c}{K} = \delta$ 로 놓고 $T - T_0 = \phi$ $T_0 = \text{const}$ 라 하면

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{2\sigma}{Kr} \phi = \delta \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (2)$$

와 같이 된다.

(2)식의 경계조건은

$$X=0, -4Kr^2 \frac{\partial \phi}{\partial X} = Q \quad (3)$$

$$X=\infty, \phi=0$$

$$\text{초기 조건은 } t=0, \phi=0 \quad (4)$$

대부분의 경우 해석적으로 그 해를 구하기가 힘들고 혹 구했다 하더라도 그 해가 급수해로 나타나고 어느 구역에서만 그 해가 만족되거나 어느 구역에서는 그 해가 맞지 않는다.²¹⁾²²⁾

그래서 (2)식을 유한차분법(Central Difference)으로 수치 해석하기 위하여

$X=n\Delta x$, $t=i\Delta t$ $\psi = \sigma/k$ 로 놓으면

$$\frac{\phi_{n+1}^i - 2\phi_n^i + \phi_{n-1}^i}{(\Delta x)^2} - \frac{\psi}{r} \phi_n^i = \delta \frac{\phi_n^{i+1} - \phi_n^{i-1}}{2\Delta t} \quad (5)$$

이와 같은 차분방정식을 얻는다.

$$A = \frac{1}{(\Delta x)^2}, B = \frac{2}{(\Delta x)^2} + \frac{\psi}{r} \text{로 놓으면}$$

$$\phi_n^{i+1} = \phi_n^{i-1} + \frac{2\Delta t}{\delta} (A \phi_{n-1}^i - B \phi_n^i + A \phi_{n+1}^i) \quad n=1, 2, 3, 4, \quad (6)$$

경계조건, 초기조건은

$$\phi_1^{i+1} = \frac{Q \cdot \Delta x}{4Kr^2} + \phi_2^{i+1} \quad (7)$$

$$\phi_n^1 = 0, \quad n=1, 2, 3, 4 \quad (8)$$

다음 반지름이 r이고 길이가 1인 원주의 미소거리 dx인 곳에서의 열평형을 생각하여, 비정상 상태의 전열방식을 세우면

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{2\sigma}{Kr}(T-T_0) = \frac{\gamma c}{K} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{2\sigma}{Kr} \phi = \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (10)$$

와 같이 되고

(10)식의 경계조건 초기조건은

$$X=0, -K\pi r^2 \frac{\partial \phi}{\partial x} = Q$$

$$x=\infty, \phi=0 \quad (11)$$

$$t=0, \phi=0 \quad (12)$$

위와 같은 방법으로 차분방정식을 세우면

$$\psi = \frac{2\sigma}{K} \text{로 놓고}$$

$$\frac{\phi_{n+1}^i - 2\phi_n^i + \phi_{n-1}^i}{(\Delta x)^2} - \frac{\psi}{r} \phi_n^i = \delta \frac{\phi_n^{i+1} - \phi_n^{i-1}}{2\Delta t} \quad (13)$$

이와 같은 차분 방정식을 얻는다.

$$A = \frac{1}{(\Delta x)^2}, B = \frac{2}{(\Delta x)^2} + \frac{\psi}{r} \text{로 놓으면}$$

$$A\phi_{n-1}^i - B\phi_n^i + A\phi_{n+1}^i = \frac{\delta}{2\Delta t} (\phi_n^{i+1} - \phi_n^{i-1}) \quad (14)$$

$$\therefore \phi_n^{i+1} = \phi_n^{i-1} + \frac{2\Delta t}{\delta} (A\phi_{n-1}^i - B\phi_n^i + A\phi_{n+1}^i) \quad (15)$$

n=1, 2, 3,

경계조건 초기조건은

$$\phi_1^{i+1} = \frac{2Q\Delta x}{k\pi r^2} - \phi_2^{i+1} \quad (16)$$

$$\phi_n^1 = 0 \quad n=1, 2, 3, 4, \quad (17)$$

또 한번이 2r이고 길이가인 정삼각주를 생각하면 미소거리 dx인 곳에서의 비정상 상태의 전열방식을 세우면

$$-\sqrt{3}kr^2 \frac{\partial T}{\partial x} dt + \sqrt{3}kr^2 \left\{ \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx \right\} dt \quad (18)$$

$$-6r\sigma dx (T-T_0) dt = \sqrt{3}r^2 dx \gamma c dT$$

T₀=const로 놓고 정리하면

$$\frac{6\sigma}{\sqrt{3}k} = \psi, \quad \frac{rc}{k} = \delta, \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \frac{\psi}{r} \phi = \delta \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (19)$$

경계조건, 초기조건을

$$x=0, -\sqrt{3}kr^2 \frac{\partial \phi}{\partial x} = Q \quad (20)$$

$$x=\infty, \phi=0 \quad (21)$$

$$t=0, \phi=0$$

(19)식을 차분방정식으로 만들면

$$\frac{\phi_{n+1}^i - 2\phi_n^i + \phi_{n-1}^i}{(\Delta x)^2} - \frac{\psi}{r} \phi_n^i = \delta \frac{\phi_n^{i+1} - \phi_n^{i-1}}{2\Delta t} \quad (22)$$

$$A = \frac{1}{(\Delta x)^2}, B = \frac{2}{(\Delta x)^2} + \frac{\psi}{r} \text{로 놓으면}$$

$$A\phi_{n-1}^i - B\phi_n^i + A\phi_{n+1}^i = \delta (\phi_n^{i+1} - \phi_n^{i-1}) \quad (23)$$

$$\phi_n^{i+1} = \phi_n^{i-1} + \frac{2\Delta t}{\delta} (A\phi_{n-1}^i - B\phi_n^i + A\phi_{n+1}^i) \quad (24)$$

이때의 경계조건은

$$\phi_1^{i+1} = \frac{2Q\Delta x}{\sqrt{3}kr^2} + \phi_2^{i+1} \quad (25)$$

$$\text{초기 조건은 } \phi_n^1 = 0, \quad n=1, 2, 3, 4, 5 \quad (26)$$

열원강도 Q는 각종 수지들의 금형내부의 유입해석의 복잡 때문에 본 연구에서는 보통 사출기에서의 사출온도 예컨대 폴리에틸렌 (Polyethylene)인 경우는 193°C, 폴리아세탈 (Polyacetal)은 190°C, 그리고 폴리프로필렌 (Polypropylene)인 경우는 230°C의 열원이 계속해서 들어오는 것으로 간주하여 금형내부를 정삼각주로 봤을때의 계산 프로그램을 식(6)

(7)그리고(8)을 이용하여 FORTRAN의 function으로 작성하였다.

또 금형내부를 원주로 봤을 때는 식(15)(16) 그리고(17)을 이용하면 또 삼각주로 봤을때는 식(24)(25)그리고(26)을 사용하여 계산 프로그램을 작성하여 시뮬레이션 하였다.

열전도율을 이 정도의 유입온도에서는 온도의 영향을 받지 않는 것으로 하였다.²³⁾

III. 실험

3.1. 열원

열원으로서 사용하는 수지원료의 용융온도 및 사출온도를 찾아내어 그 열원이 일정하게 입력되는 것으로 가정하여 전기 저항선 3.10 Ω/m의 얇은 판상의 750W의 니크롬선을 양질의 마이카판에 서로 접촉만 안되게 감아서 열 유속이 가능한한 평균적으로 분포되도록 노력하였다.

그 위에 또 마이카판과 5mm 두께의 은판을 밀착시켜 전원을 슬라이닥에 연결하여 전압 조정을 하면서 안판의 각점의 온도가 수지의 사출온도와 같도록 하여 그것을 열원으로 하였다.

3.2. 실험장치 및 시험편의 형태

본 연구에서 제시한 온도분포를 검증하기 위하여 주로 열가소성 수지의 금형 재료를 사용하고 있는 프리, 하든강(Pre-harden steel)의 S55C, SCM24, SKS51 및 SUS16을 그림1과 같은 시험편으로 하여 그림2와 같은 실험장치로서 다점식 온도기록계 -200~1760℃, 30ch, 슬라이닥 정격용량 2KVA, 그리고 열전대 온도계 0~800℃, 35mV 그리고 I-C 열전대를 사용하여 시험편의 정점으로 부터 10, 20, 30, 40, 50cm 간격으로 같은 거리에 3점씩 I-C열전대를 Percussion welding해서 서로의 끝을 단락시킨후 다른 끝은 다점식 온도기록계에 연결하

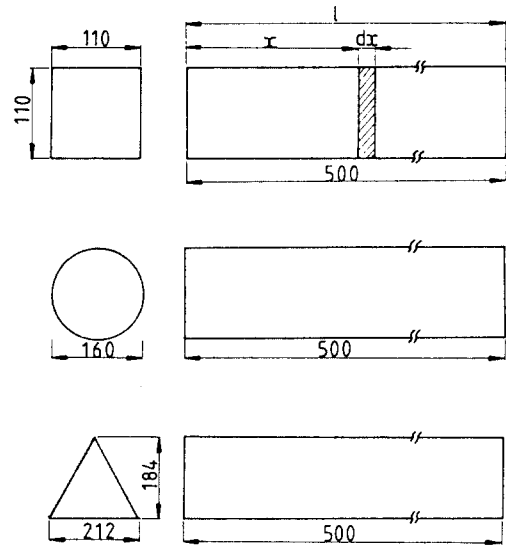


Fig.1. Various Specimen size

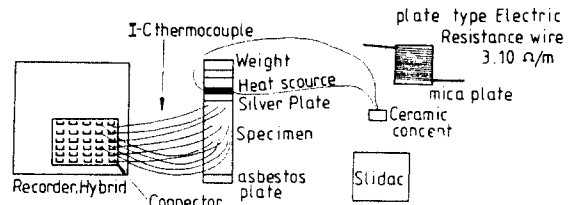


Fig.2. Schematic diagram of experimental apparatus

였다.

열원은 그 온도가 균일하게 분포되고 170 혹은 210℃까지 기다렸다가 그 온도가 평균적으로 전술한 온도까지 도달한 후 즉시 시험편의 정점에 밀착시켜 그때부터의 온도를 시간에 따라 기록하였다.

시험편의 상부 정면과 열원인 은판사이의 접촉이 문제가 되어 두접촉면의 표면 조도를 할 수 있는데까지 매끄럽게 연마하여 두면을 접촉시켜 진동을 시키고 또 열원을 접촉시킬때 5kg의 하중을 가하여²⁴⁾ 참 접촉면을 얻도록 노력하였다.

본 실험에서 사용한 기록장치는 증폭기에서 I-C열전대에 의한 유기전압을 바로 온도를 환산한후 Galvanometer로 기록하도록 되어 있

Table1. Chemical Composition and Materials Properties

Materials Properties	Chemical Composition (Wt%)										
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Fe	Spec, Heat (cal/g/°C)	Thermal Cond (cal/cm/°C/sec)	Spec, Weight (g/cm³)	Coef, of Heat Transfer (cal/cm²/°C/sec)
S55C	0.55	0.20	0.90				Res	0.131	0.19	15.2	0.001
SCM24	0.45	0.20	0.90		1.10	0.25	Res	0.133	0.18	15.3	0.001
SKS51	0.75	0.30	0.50	1.50	0.50		Res	0.131	0.17	15.4	0.0093
SUS16	0.03			12.15	18.25	1.50	Res	0.132	0.15	15.5	0.0041

는 온도기록전용 기록장치이다. 실험은 두번 실시하였고 두번다 비슷한 결과를 얻었다.

Table. 1은 시편의 화학적 성분과 물성치를 나타낸다.

사각주, 원주 및 정삼각주에 시편들은 Fig. 1과 같은 크기로 S55C, SCM24, SKS21 및 SUS16으로 제작하여 연마기에 얹어서 연마후 다시 Free Sander와 Orbital Sander로 사상연마후 라사연마를 해서 표면의 상태를 똑 같도록 하기 위하여 노력하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 S55C의 사각주에서의 수치계산 결과와 실험 결과를 나타낸다. 일반적으로 수치계산결과로 나온 수치가 실험에 의한것보다 높게 나타남을 알 수 있었고 온도가 낮은 곳에서의 이론치와 실험치의 차가 점점 냉각됨에 따라서 많이 벌어지는 것을 알 수 있다.

그리고 시간이 증가함에 따라서 온도는 계속 해서 올라가고 온도가 높은 곳에서의 이론치와 실험치의 차이는 적고 점점 냉각해감에 따라서 이론치와 실험치가 접근해감을 알 수 있다.

Fig. 4는 SCM24의 사각주에서의 수치계산결과와 실험결과를 나타낸다. 이것도 계산치가 실험치보다 전반적으로 높게 나타남을 보여주고 앞의 S55C보다 온도 상승이 더 높은 것을 보여 준다. 이것도 원점에 가까울수록 온도변화가 크고 냉각됨에 따라서 그 차가 적다는 것

을 알 수 있다.

Fig. 5는 SKS16을 사용하여 사각주에서의 계산결과와 실험결과를 비교한 것이다. 이것도 계산치가 실험치보다 온도가 높게 나타나고 또 앞의 SCM24보다도 같은 시간에 대한 온도상승이 큰것을 알 수 있다. 이것도 거리가 가까운 곳에서 온도 차가 크고 시간과 거리가 증가할수록 계산치와 실험치가 점점 접근해감을 보인다.

Fig. 6은 SUS의 사각주에서의 이론계산치와 실험치를 보여준다. 앞서의 S55C, SCM24, SKS51보다 같은 시간에 대한 온도상승이 크

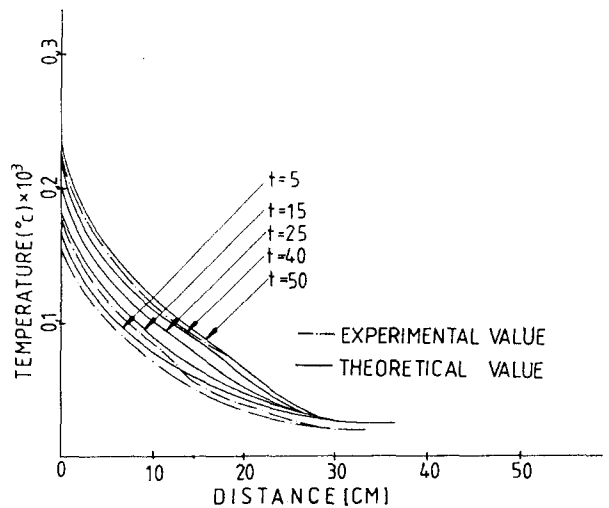


Fig.3. Variation of Temperature distribution in a Rectangular Shape for various Distances with Parameter t in S55C

며 이것도 이론계산치가 실험치보다 높게 나타나고 있다. 그리고 곡선의 경사가 다른것에 비해서 크다.

Fig 7, 8, 9 및 10은 원주에서의 수치해석 결과와 실험결과를 S55C, SCM40, SKS51, 및 SUS16에 대하여 나타낸 것이다. 모두가 다 같이 수치해석결과가 실험결과보다 온도가 높게 나타나고 있으며 고온부에서의 온도차가 크고 저온부에 올수록 온도차가 적어지며, 합금 성분의 중량비율이 많을수록 온도 상승이 큰 것을 알 수 있다.

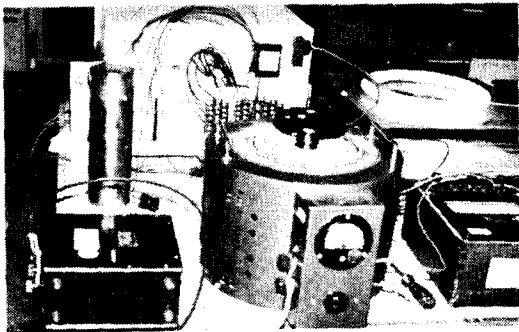


Photo.1. Experimental Apparatus

Fig. 11, 12, 13 및 14는 삼각주에서의 수치해석 결과와 실험결과를 S55C, SCM40, SKS51 및 SUS16에 대해서 나타낸 것이다. 이들도 또한 계산결과가 실험결과보다 높으며 온도상승이 사각주 원주 보다 더 높은것을 알 수 있었고 또 양 온도차도 거리와 시간이 적을 수록 크고, 많을수록 작은것을 알 수 있었고 또 합

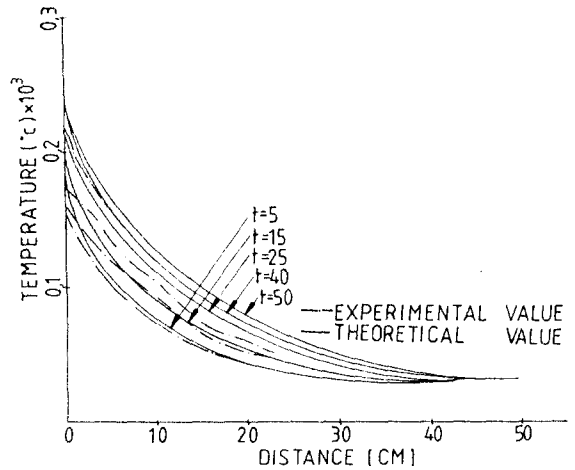


Fig.5. Variation of Temperature distribution in a Rectangular Shape for various Distances with respect to t in SKS16

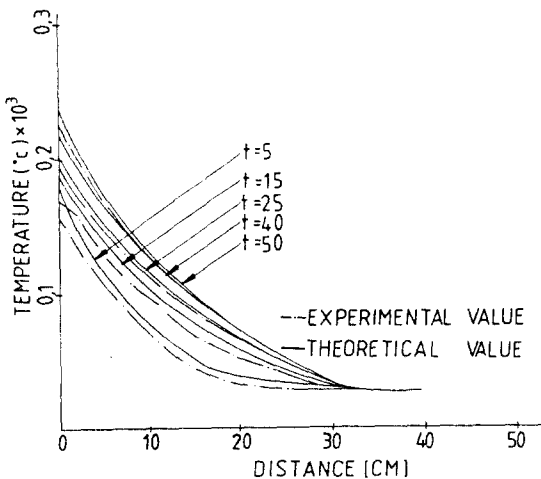


Fig.4. Variation of Temperature distribution in a Rectangular Shape for various Distances with respect to t in SCM24

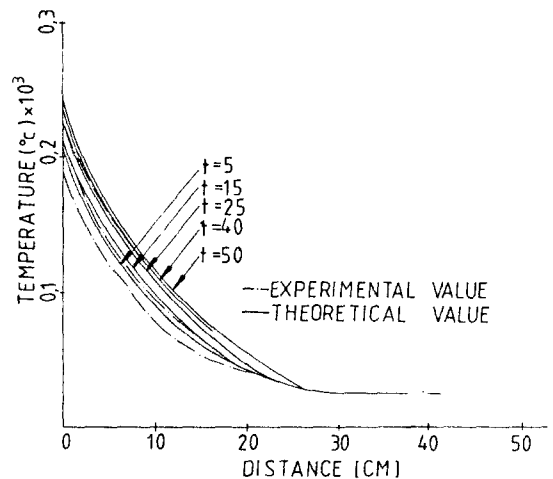


Fig.6. Variation of Temperature distribution in a Rectangular Shape for various Distances with Parameter t in SUS16

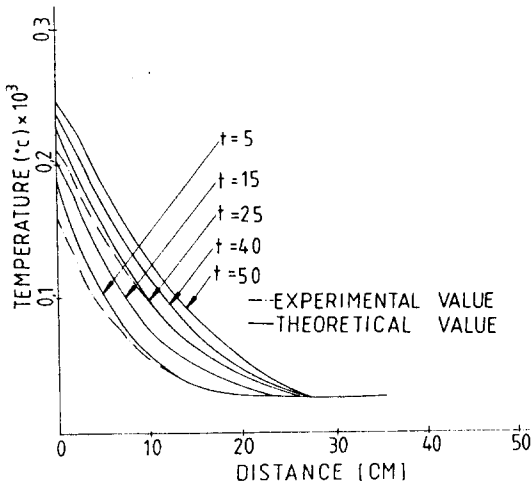


Fig.7. Variation of Temperature distribution in a Cylindrical Column for various Distances with Parameter t in S55C

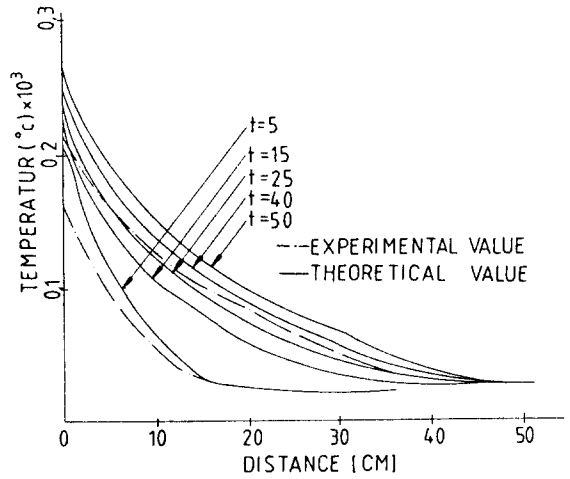


Fig.8. Variation of Temperature distribution in a Cylindrical Column for various Distances with Parameter t in SCM40

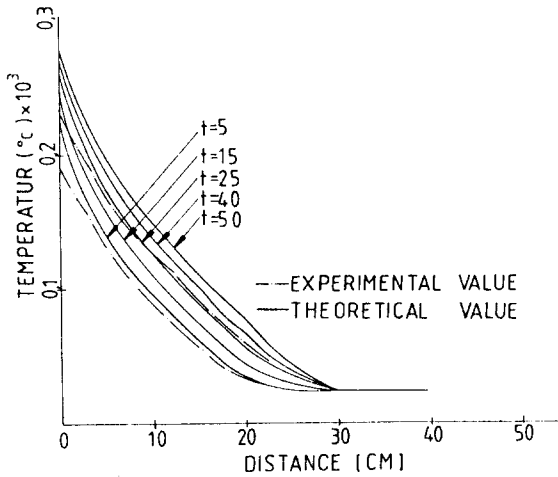


Fig.9. Variation of Temperature distribution in a Cylindrical Column for various Distances with Parameter t in SKS51

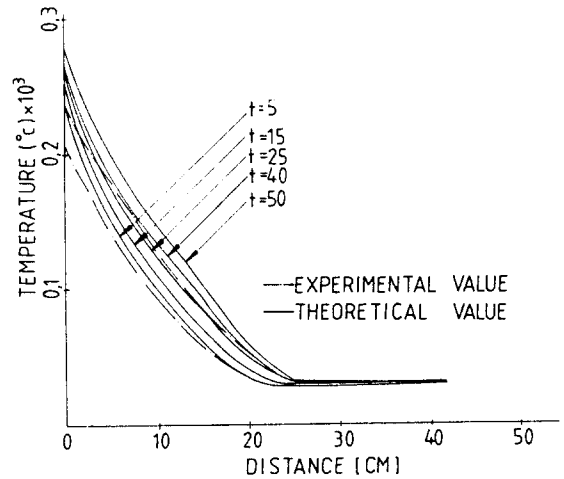


Fig.10. Variation of Temperature distribution in a Cylindrical Column for various Distances with Parameter t in SUS16

금성분의 함량비율이 많을수록 온도 상승이 큰 것을 알 수 있다.

열 전도는 열 에너지를 운반하는 것으로서, 전도전자와 격자진동에 의거하는데, 전자쪽이 더 큰 역할을 한다.²⁶⁾

전자의 열 에너지를 온도구배에 의하여 단위

거리를 옮기는데, 온도차를 1°C 라 하면, 이것은 전자전체의 열 용량이라고 할 수 있다.²⁷⁾

열전도율은 이 열 용량 C_e 에 곱하기 전자의 평균속도 V_e 와 또 평균운동거리 또한 격자진동이든 격자의 열 용량 C_p , 그의 전파속도를 V_p 와 평균자유노정 Δp 의 적(product), 즉 C_p

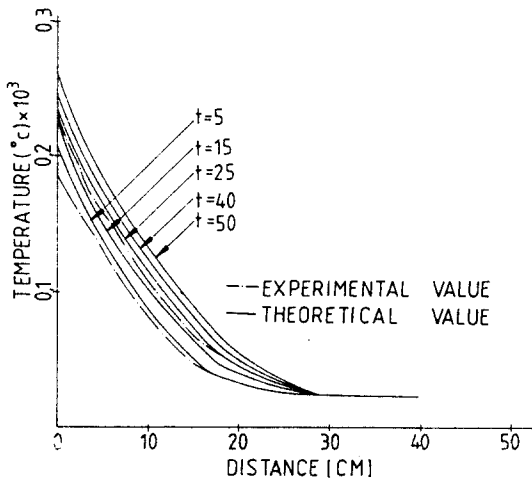


Fig.11. Variation of Temperature distribution in a Triangular Column for various Distances with Parameter t in S55C

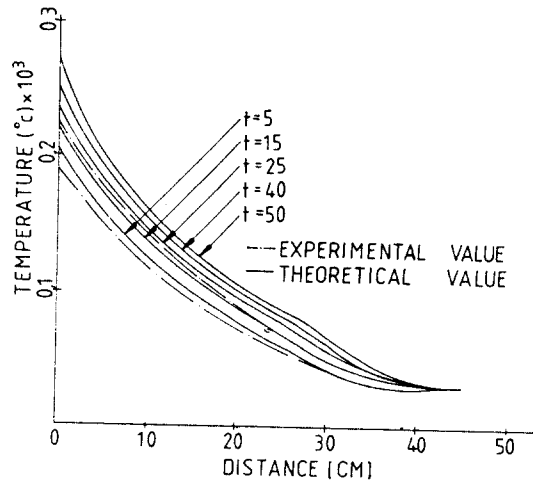


Fig.12. Variation of Temperature distribution in a Triangular Column for various Distances with Parameter t in SCM24

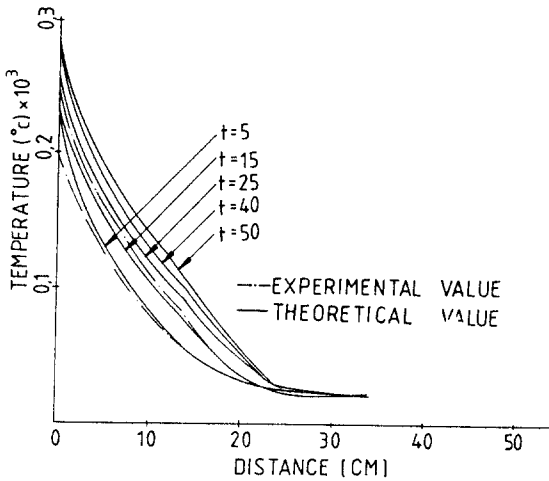


Fig.13. Variation of Temperature distribution in a Triangular Column for various Distances with Parameter t in SKS51

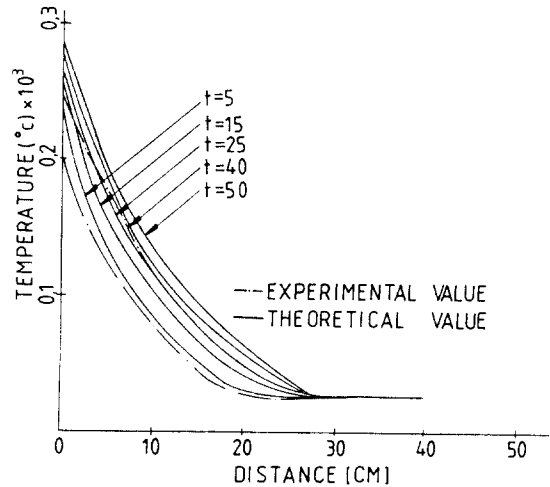


Fig.14. Variation of Temperature distribution in a Triangular Column for various Distances with Parameter t in SUS16

$V_p \Lambda_p$ 가 된다. 그런데 전자 쪽이 열의 전파에 대해서 유효한 이유는, C 나 Λ 도 틀리지만, 가장 많이 틀리는 것은 속도 V 이며, 전자의 속도는 Fermi속도이므로 약 10^8cm/sec 이며, 격자의 속도는 음파의 속도이므로 약 10^5cm/sec , 이어서 셋 자릿수가 큰편이다. 결국 보통 금속에서는 실온에서 전자에 의한 열전도율

은 격자열전도의 수십배이며, 한편, 합금에서는 불순물 원자에 의하는 산란(disturbance)이 증가해서 Λe 가 감소하는 결과 열 방산이 적지 않나 생각된다.

이상의 사각주, 원주 그리고 삼각주에 대하여 사용되고 있는 사출금형 재료들의 대표적인 것 몇개를 골라서 온도분포 현상을 고찰해 보

았다.

사출성형중, 제품의 일부가 두껍다든가, 제품이 한쪽으로 기울어 졌다든가, 치수 품질이 불안정하다든가, 외관상 결함을 없애기 위하여 예를 들면 fan Boss부와 같은 제품의 두께가 큰것을 빨리 냉각 시켜서 shot cycle을 높일때 혹은 Bumper와 같은 얇은 두께의 제품의 일부를 빨리 냉각시켜 제품의 힘을 방지하는것 등등과 같은 금형내의 냉각 능력을 크게하고 내부 냉각을 개선해야할 필요가 생겼을때 각부의 온도분포를 예측할 수 있는 잣대가 필요하다. 이론적 계산치보다 실험치가 약간 낮게 나타나는 것은 실험오차, 특히 열접촉의 결함에 기인 된다고 보지며 온도변화의 영향을 대략 예상한바와 같고, 또 방열상태가 수직상태인 경우 실험실의 주위공기의 유속등에 기인하는 열방산량의 차이 때문이라고 생각된다.²⁵⁾ 그러나, 실험시 곡선의 온도구배는 수치 계산치와 비슷한 경향이므로 어떤 금형재료가 결정되면은 그 재료의 물성치와 성분의 중량 비율 등을 알면 별첨의 개발한 프로그램에 Data를 입력해서 시뮬레이션을 하므로써 그 온도 분포를 예측할 수 있기 때문에 냉각공 설계에 도움이 될 것으로 생각된다.

V. 결 론

열가소성 재료의 성형에서 금형의 캐비티속으로 유입된 뜨거운 수지재료의 온도는 성형품을 뽑아내는데 충분히 단단한 상태로 냉각된 온도까지 낮추워진 필요가 있다. 뜨거운 재료로부터 금형에 전달되는 열은 전도, 대류등을 통하여 금형으로 부터 없어지는 것보다 크다면 이러한 과잉열을 제거하기 위하여 냉각수단이 필요하다. 이 냉각설계를 하기 위한 기초작업으로 금형의 형태를 사각주, 원주 및 삼각주로 간주하여 열전도 및 전달상태를 이론적으로 해석하고 실험에 의하여 각종 금속들의 온도분포를 측정하여 확인한 것을 종합하여 유한차분법

(Central difference)으로 구한 해는

$$\phi_n^{i+1} = \phi_n^{i-1} + \frac{2\Delta t}{\delta} \left\{ -\frac{1}{(\Delta x)^2} \phi_n^{i-1} - \left(\frac{2}{(\Delta x)^2} + \frac{\psi}{r} \right) + \frac{1}{(\Delta x)^2} \phi_{n+1}^i \right\}$$

이와 같으며 이 식을 이용하여 온도 분포를 이하는 프로그램을 개발하였다. 금형 재료로 사용하는 것을 물성치만 알면 개발한 프로그램에 대입해서 시뮬레이션을 해서 각부의 온도분포를 추정할 수 있으며, 방산되는 열량의 수정치는 참고문헌(25)을 참고로하여 전도 및 전달로 방산되는 열량으로 인한 온도분포 상황을 알 수 있다.

또한 시편으로 사용한 강중에서 합금원소의 중량 퍼센트가 많을수록 온도 상승이 크며 동시에 열전도율도 낮은 것을 알 수 있으므로 내마멸성이나 인성 등을 강조하는 것보다 Shot cycle로 생산성만을 강조할 때는 동합금이나 알루미늄 합금 같은 것을 소재로 사용하여 열전도성을 향상시킬 필요가 있다.

후 기

본 논문은 문교부학술연구 조성비로 연구하였으며, 관계 제관님에게 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 浜田 稔, “プラスチック” 36(1), p. 116, 1985.
- 2) 중소기업진흥공단 “플라스틱 금형기술 핸드북” 아크메스칼, p. L17-11, 12, 13.
- 3) 이호상, 신호철, “사출성형시 두께방향으로의 유동특성에 관한 유한요소해석” 대한기계학회 논문집, 제11권 제6호 p. 1027, 1988.
- 4) 전계서 3)p.1030
- 5) 이상현, 이진우, 고천진, “플라스틱 사출 금형설계를 위한 CAD시스템의 개발” 대한기계학회 논문집 제12권 제6호 p. 1227~1237, 1988.

- 6) Jeong Su Yu, Jae Woo Lee, Ki Lun Lee "ANALYSIS AND SIMULATION OF CALENDERING PROCESS OF NON-NEWTONIAN POLY MERIC FLUIDS" KOREAN JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING, vol. 1 No.2 p.173~180, 1984.
- 7) P.G.LAFLEUR and M.R.KAMAL, "A Structure Oriented Computer Simulation of the Injection Molding of Viscoelastic Crystalline Polymers Part1: Molding with Fountain Flow, packing, Solidification" POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, vol. 26 No 1 p. 92~101 1986.
- 8) L.R.SCHMIDT, "A Special Mold and Tracer Technique for studying shear and extensional Flows in a mold cavity During Injection Molding" POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, vol.14 No.11 p.797~800.
- 9) H.MAVRIDIS, A.N. HRYMAK. AND J VLACHOPOULO "Finite Element simulation of Fountain flow in Injection Molding" POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, vol. 26 No. 7 p. 449~454, 1986.
- 10) KLIGMAN.B.D, TAZYUKOV.F.L "Convective Stability of a non-Newtonian liquid under nonsteady-state conditions KAZAN TEKHNOL. Inst, KAZAN, USSR p 11, 1983.
- 11) DOUGLAS, CRAIG D, MCELMAN, JOHN A. "molding of filled polymer system NATI. SAMPE TECH. CONF, 1984.
- 12) SENATOS, V.A.,; GOVTVYAN, M.K., LUKACH, YU, E. "Description of biaxial extension of a polymer melt in extrusion of tubular films" ukr. NAUCHNO-LSSLED, LNST. PLAST. MASHINOSTR., KIEV, USSR, 1985.
- 13) ZAVADSKY,E.; KARNIS,J.; PECHOC, V. "Non-isothermal flow of polymer melts in a curved tube" RES. LNST. MAN-MADE FIBERS, CS-05921 SVIT. CZECH. 1985.
- 14) KNAPPE, W.; KRUMBOECK. E. "Tribology and rheology of rigid PVC Compositions" OESTERR. CHEM. Z FED. REP. GER. 1985.
- 15) KAMAL, M.R.; CHU, E.; LAFLEUR, P, G.; RYAN, M.E. "Computer simulation of injection molding filling for viscoelastic melts with fountain flow" Polym. eng. Sci p. 26, 1986.
- 16) Dr.Ir.J.P.Kruth; "steps Towards an Integrated CAD/CAM system for Mold Desing and Manubactyre" Annals of the CIRP vol. 35/1, p. 83~88, 1986.
- 17) OSAMU AMANO; "射出成形用 CAEをどう制用するか" プラスチックス vol. 38, No. 8 p.25 공업조사회, 東京 1987.
- 18) WANG,K.K., "Computer-Aided Design and Fabrication of Molds and Computer Control of Injection Molding", PROGRESS REPORT No. 1-11, CORNELL UNIV. 1988
- 19) 전체서 17) p. 26.
- 20) Fench and Rosenow W.M.; Prediction of thermal conductance of matallic surface in contact, Jour of heat Transfer, vol. 85 No.19. 15 1963.
- 21) H.S. CARSLAW and J.C.JAEGER, "Conduction of Heat in Solids" Oxford at the clarendon press, p. 12~13, 1980.
- 22) J.P. HOLMAN, "Heat Transfer" MC Graw-Hill 6th Edition, p.83 1986.
- 23) A.Sommerfeld and H.Bethe; Elektronentheorie der metalle
井上正 固體電子論 東海大學出版會 p. 275, 1976.
- 24) F.P.Bowden, D. Tabor, "The Friction and Lubrication of Solids" Oxford p. 24, 1950
- 25) 村上宗雄 射出成形金型設計(下)p. 1106 韓國金型工學協同組會 1988.
- 26) 前掲書 23)p.300.
- 27) Ziman J.M.; Electrons and Phonons Clarendon Press p. 279, 1960.