

講 座

鑄物生産에 있어서의 컴퓨터 技術의 應用 (2)

金 剛 漢

3. 주조방안의 전산화

주조방안의 양부는 주조수율, 수축공 및 기공발생, 표면불량, misrun 등의 불량발생을 좌우하는 중대한 요인으로서, 주물원가에 미치는 영향이 지대하다. 그러나 이와같이 중차대한 주조방안이, 아직도, 대부분의 주물공장에서는, 경험있는 숙련자에 의한 trial and error 방식에 의해 이루어지고 있는 실정으로, 주물제조 원가감소를 통한 대내외 경쟁력을 향상시키기 위해서는 컴퓨터기술을 이용한 주조방안의 신속, 정확화가 요구된다. 이러한 주조방안의 전산화는 programmable 계산기 또는 소형 컴퓨터를 이용하여, 기존 사용되는 주조방안에 관련된 계산을 행하여 방안을 얻는 기초적인 단계로서의 전산화와 대형컴퓨터에 의해 한층 더 과학적이고 복잡한 계산을 처리하여 정확하고 완전한 주조방안을 얻는 높은 단계의 전산화가 있다. 여기서 값이 싸고, 취급이 편리하며, 성능이 우수한 소형컴퓨터를 이용한 주조방안의 전산화가 중소규모 주물공장에서 적합하겠다. 한편, 대형컴퓨터를 이용한 주조방안은 아직 폭넓은 실용화단계에 이르기까지 연구개발이 되지는 못했고, 구미, 일본등지에서 연구가 계속 진행중에 있다. 이러한 대형컴퓨터에 의한 주조방안의 궁극적인 목표는, 원하는 주물의 도면, 주물 및 주형재료의 thermophysical 데이터, 금속의 응고특성, 원하는 건전도가 입력되면, 이에 따른 최적의 탕구 및 압탕방안에 대한 computer graphics output 을 얻는데 있으며, 미국의 Ruddle은 이러한 완전한 주조방안의 달성이 1991년까지는 가능하리라고 예측하고 있다.

3-1. 탕구방안의 전산화

탕구계는 드로스, 슬래그, 가스유입등이 없이, 용탕이 탕구계를 충만하여 조용하면서도 신속하게 주형내에 주입되며, 방향성 응고와 응고후 주물의 변형이 적고, 높은 수율과 탕구계 제거가 쉽도록 설계되어야 한다. 이와같은 탕구계를 위해서는, 종전의 시행착오적인 방법을 지양한 과학적인 방법으로서의 탕구방안 전산화가 이루어져야 한다.

3-1-1. 용탕흐름의 simulation

용탕은 주위의 주형에 열을 빼앗기며, 주어진 탕구계를 통해 흘러 들어와 주형의 빈 공간을 채운다. 이때, 탕구계 설계의 양호 또는 불량도에 따라 난류가 형성되기도 하고, 주형의 침식, 드로스의 유입이 일어나기도 한다. 최근에 이루어지고 있는 이러한 용탕흐름의 FDM 또는 FEM을 적용한 simulation은 아직 그 적용범위가 제한되어 있고 결과 또한 조잡하나, 미래에, 완전한 탕구방안 전산화를 실현시킬 수 있는 방법으로 기대되고 있다.

3-1-2. 소형컴퓨터를 이용한 전산화

미국 AFS의 표준 탕구방안을 비롯한 기존의 여러 탕구방안들은 유체역학에 기초를 두고 개발된 것으로, 이들이 단번에 정확한 방안을 제시한다고 보장할 수는 없으나, 우선, 방안에 관련된 계산이 비교적 간단하여, 소형컴퓨터에 적합하도록 프로그래밍될 수 있다. 이 프로그램을 이용하여 방안을 신속히 얻을 수 있고, 현장 작업데이터 또는 실험데이터의 feedback에 의해 정확성도 한층 더 개선시킬 수 있다. 만일, 기존 탕구방안에 대한 자료가 많이 축적되어 있으면, 이들을 data basement 운영함으로써 새로운 주물의 탕구방안에 시행착오를 줄이며 효과적으로 이용할 수도

* 충북대학교 공과대학 금속과 교수

있게 된다.

탕구방안의 프로그래밍을 위해서는 방안에 관련된 테이블, 그래프, 도형 등을 포함한 자료가 컴퓨터에 입력될 수 있도록 데이터화 돼야됨과 아울러 방안의 순서가 정립되어야 한다.

탕구계 설계 순서

그림 1은 탕구계 설계를 위한 표준적인 순서로서, 각 단계에서의 내용은 다음과 같다.

탕구계 결정:

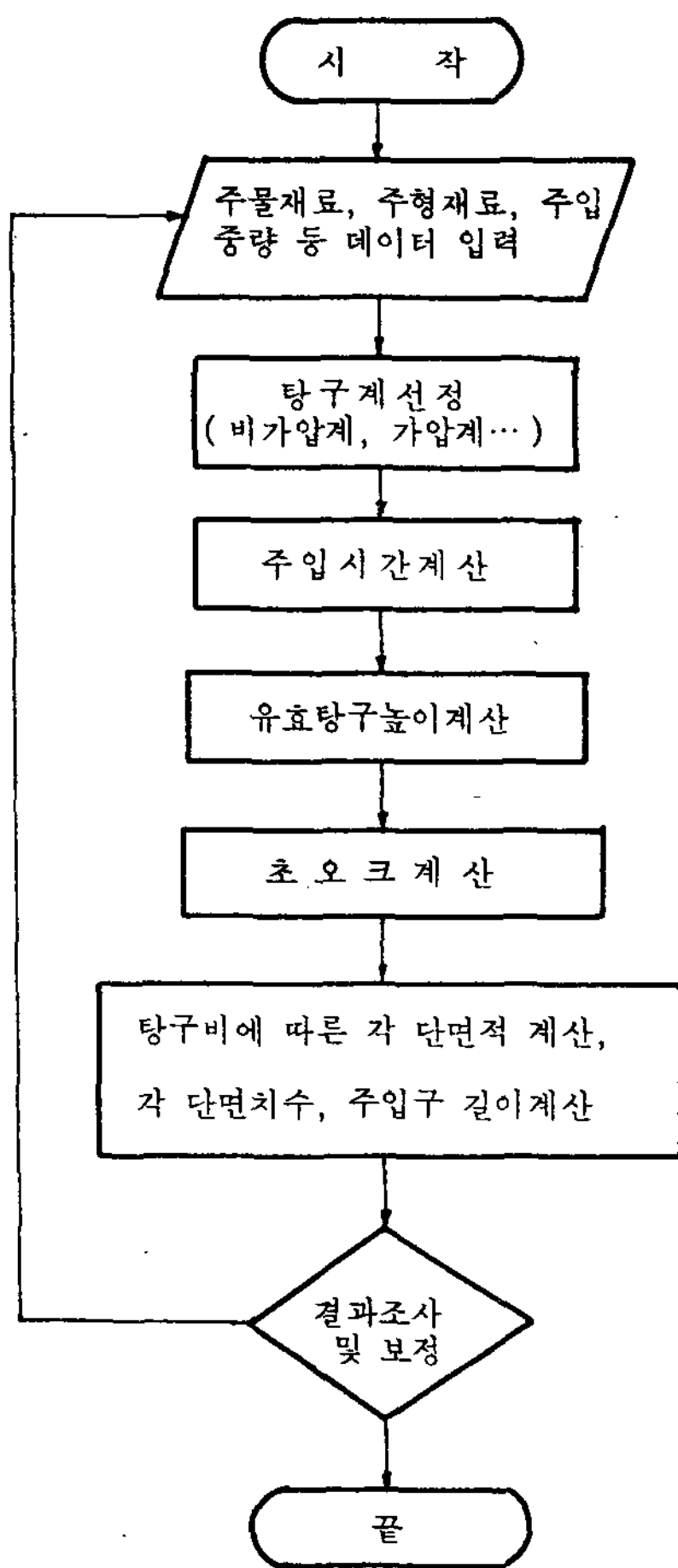


그림 1 표준적인 탕구계 설계순서

- a) 상주, 하주 또는 분리선 탕구를 결정
- b) 가압계 또는 비가압계를 결정 : 가압계의 경우, 가장 잘 쓰이는 탕구비는 4:4:1 또는 2:3:1이고, 비가압계의 경우는 1:2:4 또는 1:4:4이다. 이외에도 주물재질별 연구자별 여러 탕구비에 관한 자료

가 사용가능하며 이는 표 1에 망라되어 있다.

주입시간계산 : 최적 주입시간은 주물재질, 주형재료, 주물의 크기 및 형상, 코아의 존재 유무 등에 따라 다르며, 이에 대한 여러 경험식이 표 2에 나타나 있다. 표의 Dietert에 의한 주철주물의 주입시간 계산식에서 보이는 K값은 유동계수 (fluidity factor)로서, $K = \frac{\text{주철금속의 유동도 (in)}}{40}$ 로 나타낸다. 여기서 유

표 1 각 연구자들이 제시한 재질별 탕구비

재질	탕 구 비	비 고	연 구 자
주	1:0.81:0.625	10t 이상인 것	Hess
	1:0.86:0.715	10t 이하인 것	Doliwa, Frede Lehmann, Nipper and Lips
	1:0.75:0.5		
	1:0.75:0.5		
철	1:0.95:0.9	라디에이터류 박관상인 것	Miakowski
	1:0.75:0.5	탕도 1개인 경우	
	1:0.75:0.25	탕도 2개인 경우	Osann and Paschke
	1:1.2:0.9		Datsch Barch
	(4) (3) (2)		
	1:0.75:0.5		
	1:0.9:0.9		Lehman
	(3.6) (4) (2)		
	1:1.1:0.65		Trenkle
	1:1.5:0.8		
1 : K : 1	$1 \leq K \leq 2$		
가주 단철	1:0.5:2.45	후 육 물	Hess
	1:0.67:1.67	박 육 물	
주강	1:0.81:0.625		Hess
	1 : 1 : 1 1 : 2 : 1		Johnson 외
고력 황동	1 : 2 : 1		Johnson 외
	1:2.88:4.80	탕도 2개인 경우	Robertson Hardy
알루 미늄 청동	1:2.88:4.80	탕도 2개인 경우	Eastwood
	1 : 4 : 4	탕도 1개인 경우	
	1 : 6 : 6	탕도 2개인 경우	
알루 미늄	1:2.2:2		Howarth Johnson 외
	1 : 2 : 1		
	1 : 2 : 4		
마그 네슘	1:1.2:2		Richins and Wetmore Roinet
	1:2.2-1:4:4		
마그 네슘	1 : 2 : 2		Cristello Elliott

동도는 그림 2에서와 같이 CF (composition factor)와 주입온도에 따라 다르며, 일정한 온도에서의 유동도는 CF에 반비례하여 거의 직선적으로 변한다. 컴퓨터에 의한 K값 계산을 위해서는, 이 유동도가 유동도 = f (CF, 주입온도)로 표시되는 수식의 유도가 필요하다.

유효탕구높이(H) 계산 : 유효탕구높이는 그림 3에 보 표 2. 鑄込時間 計算式

材質	鑄型	計算式
鑄鋼	生型	$T = W - 4$
	乾燥型	$T = 1.25 W$
	砂型	$T = K_1 + K_2 \cdot W^{0.4} \cdot G^B$ $K_1 = \begin{cases} 2 \sim 5s & (20 \text{ kg以下}) \\ 2 \sim 6s & (20 \sim 100 \text{ kg}) \\ 0 \sim 7s & (100 \sim 1,000 \text{ kg}) \end{cases}$ $K_2 = 0.3 \sim 0.5$ $\beta = \frac{5}{20 - 13 \log H_s}$ $H_s = \frac{\text{鑄込溫度} - 1,500}{1,500} \times 100$
鑄鐵	生型	$T = k \sqrt{G}$ $k = \begin{cases} 1.64 & W = 2.8 \sim 3.6 \\ 1.84 & 4.0 \sim 8.0 \\ 2.24 & 8.2 \sim 15.6 \end{cases}$ $T = 2W - 3$ $T = M / \epsilon, \epsilon = 0.15 \sim 0.35 \text{ mm/s}$ $T = k(1.41 + 0.0685 W) \sqrt{G}$ K :
	乾燥型	$T = 0.32 W \cdot G^{0.4} \quad G < 1,000 \text{ kg}$ $T = 2.5 W - 3$
	金型	$T = k^3 \sqrt{0.1 W \cdot G}$ $k = \begin{cases} \text{하주식} & 3.0 & \text{FCD} & 1.5 \\ \text{횡주식} & 3.5 & & 1.8 \\ \text{상주식} & 4.0 & & 2.0 \end{cases}$
球狀黑鉛鑄鐵	生型	$T = 2.255 G^{0.425}$
銅合金		$T = 3.5 \sqrt{G}$ 黃銅, 하주식 $G < 3,000 \text{ kg}$ $T = \sqrt{(1.9 + 0.0946 W) \cdot G}$
	金型	$T = 2.5 W - 3$
알루미늄	"	$T = W - 0.7 \quad W = 2 \sim 8 \text{ mm}$
	다이캐스트	$T = 1206.6 \frac{T_g - T_l}{T_g - T_d} \cdot \frac{G}{A}$
亞鉛	"	$T = 572.6 \frac{T_g - T_l}{T_g - T_d} \cdot \frac{G}{A}$

T : 주입시간 (s), W : 두께 (mm), G : 주입중량 (kg)
 M : 모듈러스, T_g : 탕구에서의 용탕온도 (°C),
 T_d : cavity 평균온도 (°C), T_l : 액상선온도 (°C),
 A : 주물표면적 (cm²)

이는 상주식 탕구(C), 하주식 탕구(A), 분리선 탕구(B)에서, 각각 $H = h$, $H = h - \frac{p}{2}$, $H = h - \frac{p^2}{2c}$ 이다. 단, h = 탕구높이, p = 상형 또는 하형 높이, c = 모형높이이다. 초오크부 단면적(A) 계산 : 초오크부 단면적은 식 $A = \frac{W}{dtC \sqrt{2gH}}$ 에 의해 계산된다. 단, A = 초오크부 단면적 (mm²), W = 주물중량 (kg), d = 용탕의 밀도 (kg/mm³), t = 주입시간 (sec.), C = 속도계수, $g = 9.8 \times 10^3 \text{ mm/sec}^2$, H = 유효탕구높이 (mm).

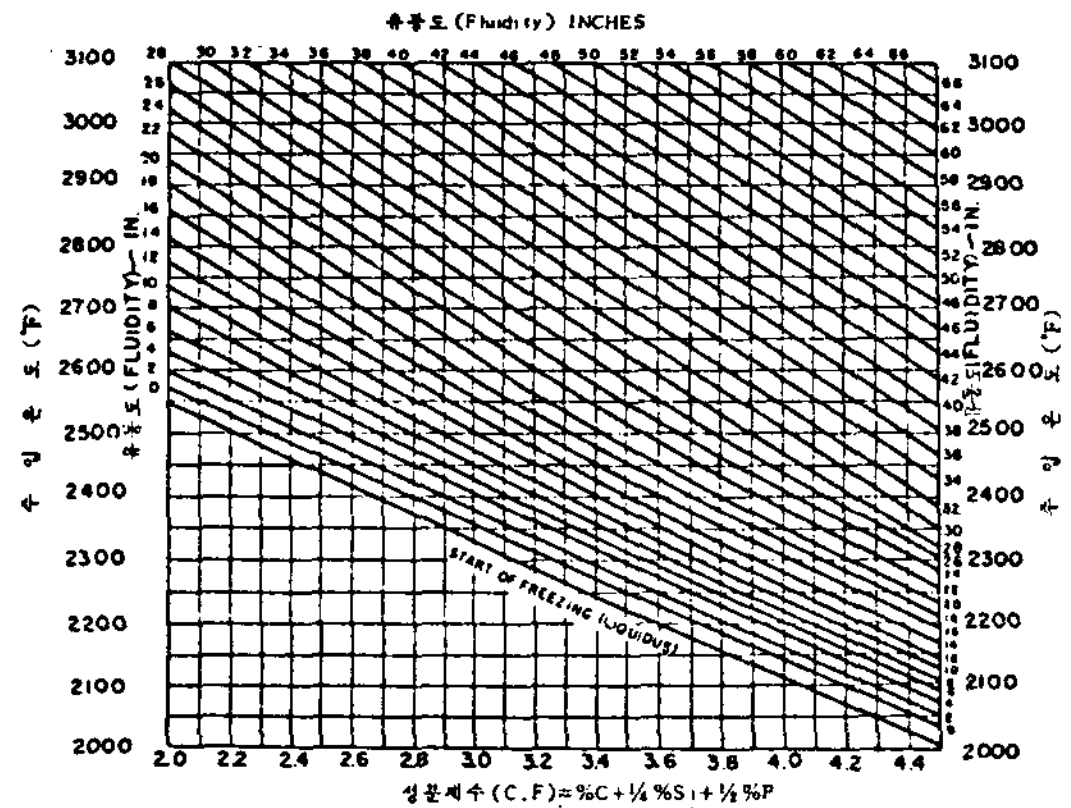


그림 2. 최우점과 가단주철에 있어서 주입온도와 조성과 유동도의 관계

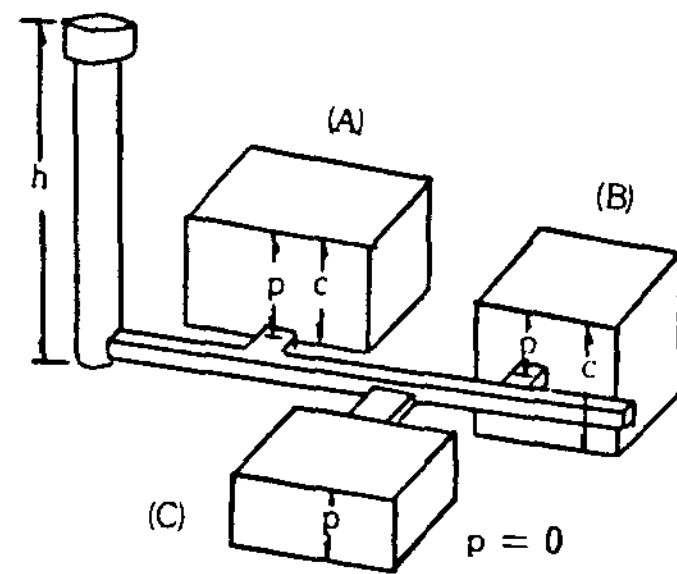


그림 3. 유효탕구높이

여기서, 속도계수 C는 선택된 탕구계에 따라 다르고 그 예는 그림 4와 같다. 한편 Wallace 등은 아래와 같이 표현된, 탕구계의 방향전환이나 단면적 변화에 의한 속도계수를 고려한 수식을 유도하여, 속도계수 예측의 정확도를 얻고자 했다 :

$$C = 1 / \sqrt{1 + k_1 \frac{A^2}{A_1^2} + k_2 \frac{A^2}{A_2^2} + k_3 \frac{A^2}{A_3^2} + \dots}$$

(단, 이때, k_1, k_2, k_3 등은 방향이나 면적의 변화에 따른 속도손실계수, A_1, A_2, A_3 등은 위의 변화시 탕

류의 흐름방향에서의 단면적, A는 초오크부 단면적이다.)

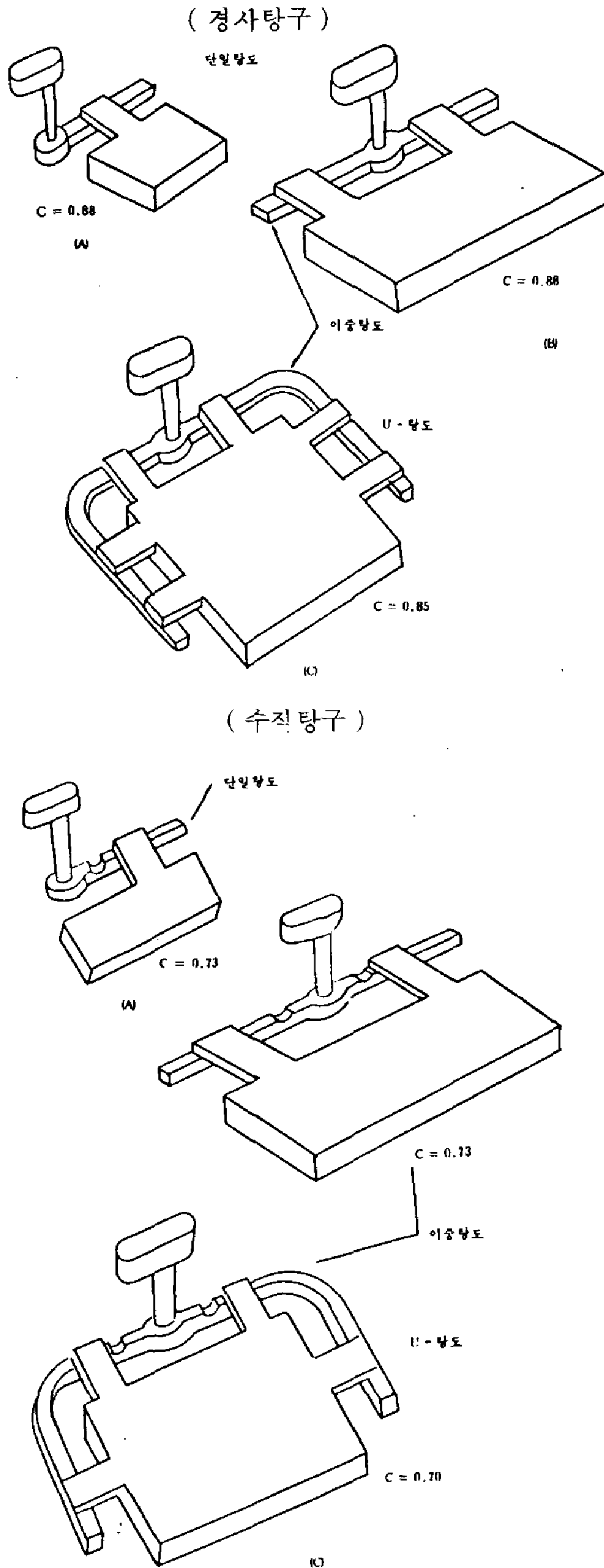


그림 4. 탕구계에 따른 속도계수

탕구계 치수결정 :

- a) 경사탕구에서 탕구상면의 면적 (A_t)의 계산은,
- b) 주입대야에서의 용탕깊이, h_1 = 탕구의 길이, Ab

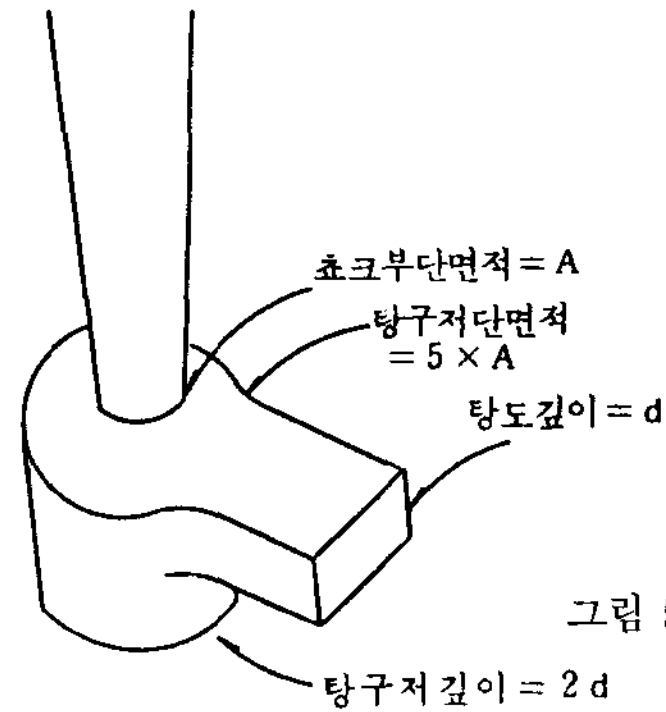


그림 5. 탕구저 치수

= 탕구 하부의 면적 (탕구에 초오크부가 있을시 초오크부 단면적) 일때, $A_t = Ab \sqrt{\frac{h_1}{b}}$ 식에 의해 계산된다.

b) 탕구저 설계 : 탕구저는 그림 5과 같이 설계됨.

c) 탕도 및 주입구 단면적 계산 : 많은 탕구계는 흔히 한개이상의 탕도와 또한 한개이상의 주입구를 사용하기 때문에, 초오크가 탕구에 있는 비가압계에서는, 특히, 용탕이 균일하게 분배되어 주입구로 흘러 들어가도록, 각 탕도 및 주입구의 단면을 설계해야 한다. Kotschi 는 이와같은 목적을 위해 다음과 같은 계산식을 유도하여 계단식 탕도 (그림 6)를 설계했다. $RA_i = A (R + 0.1 \frac{G}{N_t} (N_i - 1)) \frac{N_i}{N_t}$ (여기서 RA_i 는 i 번째 탕도입구의 단면적, A 는 초오크부 단면적, N_t 는 총주입구수, N_i 는 i 번째 탕도에 있는 주입구수, R, G 는 탕구비에서 각각 탕도와 주입구 값이다).

탕도의 수가 2개이상일 때, 각 탕도에서의 최소단면적 (AR) 은 $AR = A \frac{N_i}{N_t}$ 에 의해 계산된다. 주입구 단면적은 $GA = \frac{A}{N_t} G$ (여기서 GA 는 각 주입구의 단면적, N_t 는 총주입구수, A 는 초오크부 단면적, G 는 탕구비에서 주입구 값이다.)에 의해 계산되며, 주입구 단면 형상은 그림 7의 $\frac{H}{W} = Z$ 값이 주어지면, $H = \{AZ / (1 - Z \tan SP)\}^{\frac{1}{2}}$, $W = \{A / (Z - Z^2 \tan SP)\}^{\frac{1}{2}}$ 에 의해 결정되고, 여기서 SP^0 가 0이면, $H = (AZ)^{\frac{1}{2}}$, $W = (\frac{A}{Z})^{\frac{1}{2}}$ 에 의해 결정된다. (A 는 주입구 단면적).

결과의 체크 및 보정 : 이상과 같은 순서와 계산식을 이용하여 탕구계의 치수가 계산되었을 때, 이 치수는 입력 데이터, 또는 적용 계산식의 정확도에 영향을 받는다. 예를 들면, 주입중량 계산은 오차를 유발하기

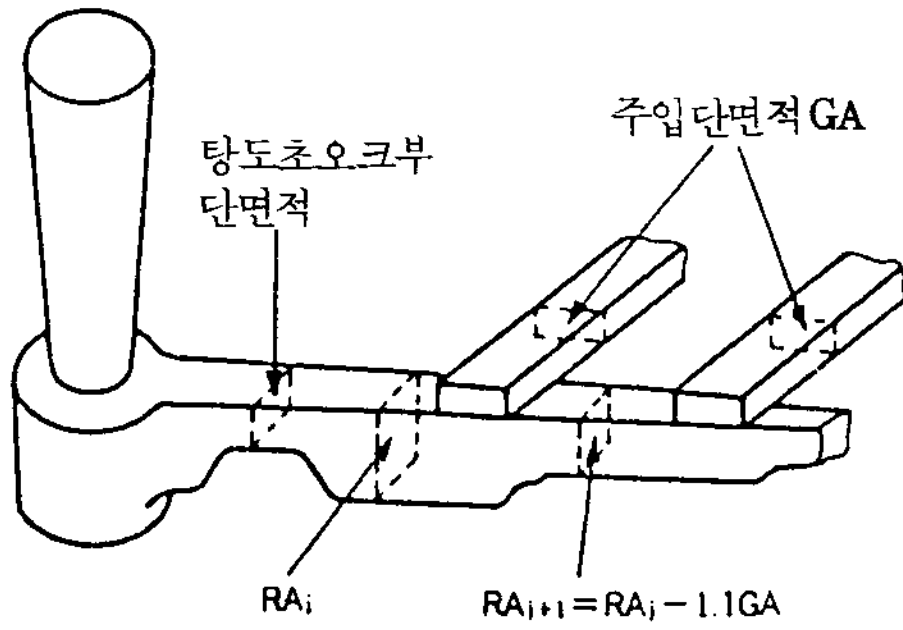


그림 6. 탕도 단면적의 변화

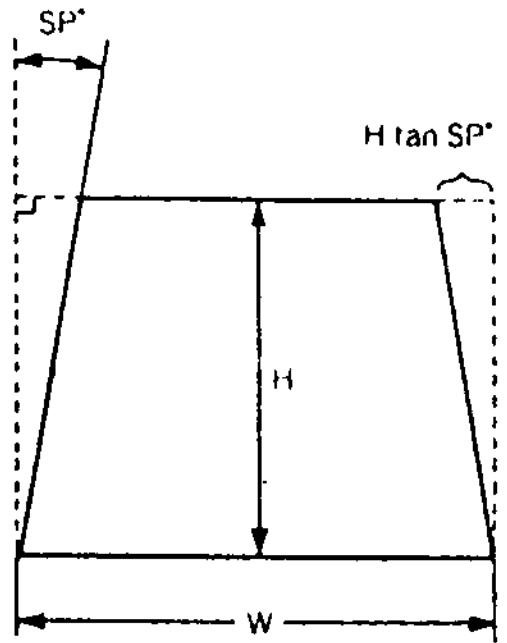


그림 7. 주입구 단면형상

쉬운 데이터 중의 하나로, 이 계산에 오차가 클때, 이 수치와 관련된 주입온도와 주입시간이 정확히 계산되기 어렵고, 아울러 정확한 초오크부 단면적이 계산될 수 없다. 경험적으로 구한 속도계수 C 값, 또한, 오차를 유발시키기 쉬운 요인이다. 즉, 컴퓨터 프로그램을 이용하여 탕구계 치수를 얻었을 경우, 사용자는 경험적으로 결과의 정확성 여부를 판단하고, 만일 결과가 정확치 않다고 판단되면, 주입중량, 속도계수 등의 값이 올바른가를 검토하여, 적절한 보정을 해야 한다.

이상과 같은 탕구방안에 있어서 고려해야 할 여러과정들을 이용하면, 어떠한 특정한 주물재질에 대한 탕구방안도 가능하다. 그림 8은 이러한 과정들을 이용하여 회주철에서의 탕구방안 프로그램을 위한 흐름도를 얻은 예이다.

참 고 문 헌

1. W.C.Erickson, "Computer simulation of solidification," AFS Int. Cast Metals J., March 1980, pp.30-41.
2. D.H.St.John, K.G.Davis and J.G.Magny, "Computer modeling and testing of me-

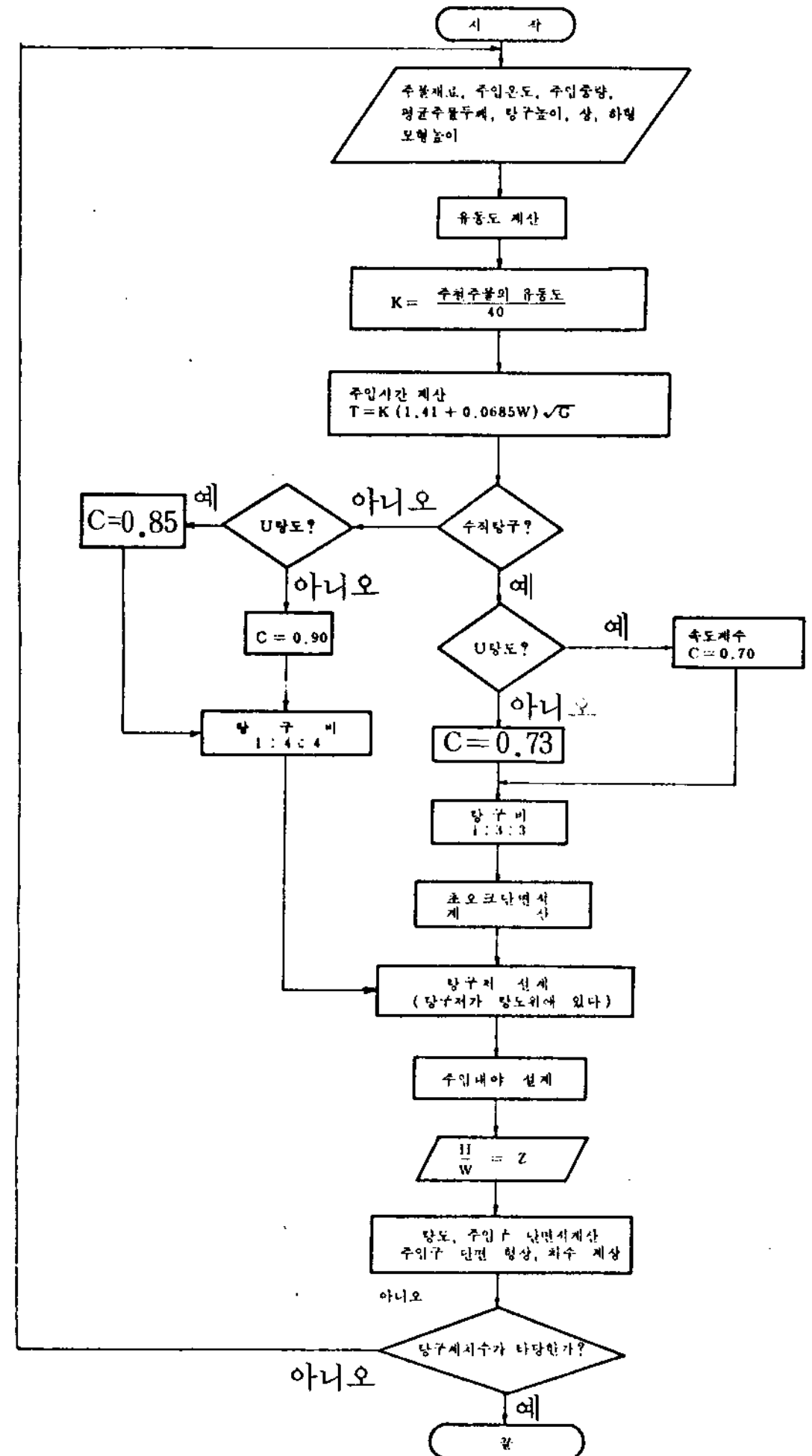


그림 8. 회주철 탕구방안의 프로그래밍을 위한 흐름도

- tal flew in gating system," 발간예정.
3. 탕구방안 (주물기술총서 3), 한국기계연구소.
4. 大中逸雄, 山内勇: 綜合鑄物, 1981,11,p.21: 1981,12,p.26.
5. R.M.Kotschi, "Compurized gating of castings," AFS Int. Cast Metals J., Sept. 1979, pp.29-38.
6. J.M.Svoboda, "Basic principles of gating and risering," AFS Cast Metals Institute Instructional Material, 1973.
7. J.F.Wallace and E.B.Evans, "Gating of gray castings," AFS Trans., v.65, 1957, p.267.