

技術資料

컴퓨터를 이용한 주조방안의 설계

최 정 길*

Computer Aided Casting Design

J. K. Choi*

1. 서 론

국내산업의 발달과 더불어 자동차, 선박, 공작 기계산업등이 크게 성장함에 따라 주물공업은 이들 산업을 뒷바침하는 소재산업의 필수적 분야로 그 중요성이 더욱 커지고 있다. 이에따라 고부가가치의 주물제품을 생산하기위한 고도의 주조기술이 급속히 요구되어지고 있는 실정이다. 이러한 목적으로 최근에 크게 각광을 받고있는 것이 주조기술에의 컴퓨터 응용분야이다. 즉 주조생산공정에서의 제현상을 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션함으로써 그 결과를 미리 예측하여 정확한 방안을 세우고 불량률을 미리 방지하여 생산성을 향상시키고자 하는 것이다.

국내 주물공업의 평균불량율은 약 10%이며 그 중에서 주조방안의 잘못으로 인한 불량율은 70~80%를 차지하고 있다. 고온의 용탕이 주형내에 주입되어 응고되는 과정은 열적 및 물리적인 복잡한 인자들이 관여됨으로 정확한 주조방안을 설계한다는 것은 매우 어려운 문제라 할 수 있다. 지금까지는 대부분의 현장에서는 기초적인 원리를 이용한 경험적 방법에 주로 의존해 오고 있는 실정이다. 그러나 이러한 방법들은 정확한 주조방안으로 확증될때까지 반복주조시험을 필요로 하며 이에따른 시간 및 많은 경비가 소요하게 된다. 한편 최근의 컴퓨터의 급속한 발달과 더불어 1980년대이후 주조방안의 설계에 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되어 오고 있다. 근년에 선진각국에서 주조방안설계를 목적으로한 소프트웨어들이 다수 개발되어 주조현장에서 큰성공을 거두며 상당한 보급이 이루어지고 있다. 본장에서는 국내

에서도 전산화 기술이 널리 보급되기를 바라면서 당연구원에서 수행해온 적용실예를 중심으로 간략히 기술하고자 한다.

2. 주조방안 설계, 소프트웨어

그림 1에 주조방안 설계를 위한 계통도를 나타내었다. 먼저 도면으로부터 주물의 중량, 부피 모듈을 중량, 부피, 모듈계산 소프트웨어로 계산한다음 이데이터를 기초로하여 탕구계 및 압탕의 치수를 탕구, 압탕계산 소프트웨어로 계산한다. 그리고 나서 2차원 또는 3차원 응고해석 소프트웨어에 의하여 제품부위에 수축결함이 생기지 않았는지 또는 압탕이 급탕역할을 제대로 하였는지 등을 점검한다. 또는 칠이나 슬리브등이 제역할을 하는지 등을 점검할수도 있다.

해석한 결과에 따라 주물본체에 결함이 생긴 것으로 나타나면 압탕의 계산으로 되돌아가서 재계산을 하게되며 결함이 없는 것으로 나타나면 시험주조를 거쳐서 실제확인을 한후 생산으로 들어가게 된다. 한편 응고해석은 탕구계 및 압탕의 치수를 계산하기전에 주물 본체의 최종응고부위를 찾거나 급탕거리에 따른 압탕수 및 위치를 결정하기 위해 먼저 실행할수도 있다.

2.1 주물의 중량, 부피 및 모듈의 계산

주물의 압탕 및 탕구방안을 계산하기 위해서는 먼저 주물의 중량 및 부피와 모듈러스(부피/열방출 표면적)를 알아야 한다. 복잡한 형상의 주물의 경우 가상적인 면을 사용하여 단순한 형상의 몇개의 부분으로 임의로 나누어서 계산할수있다. 그림 2에서 중량, 부피 및 모듈계산 소프트웨어에 의한

* 생산기술연구원 생산기반기술센터 주조기술사업부

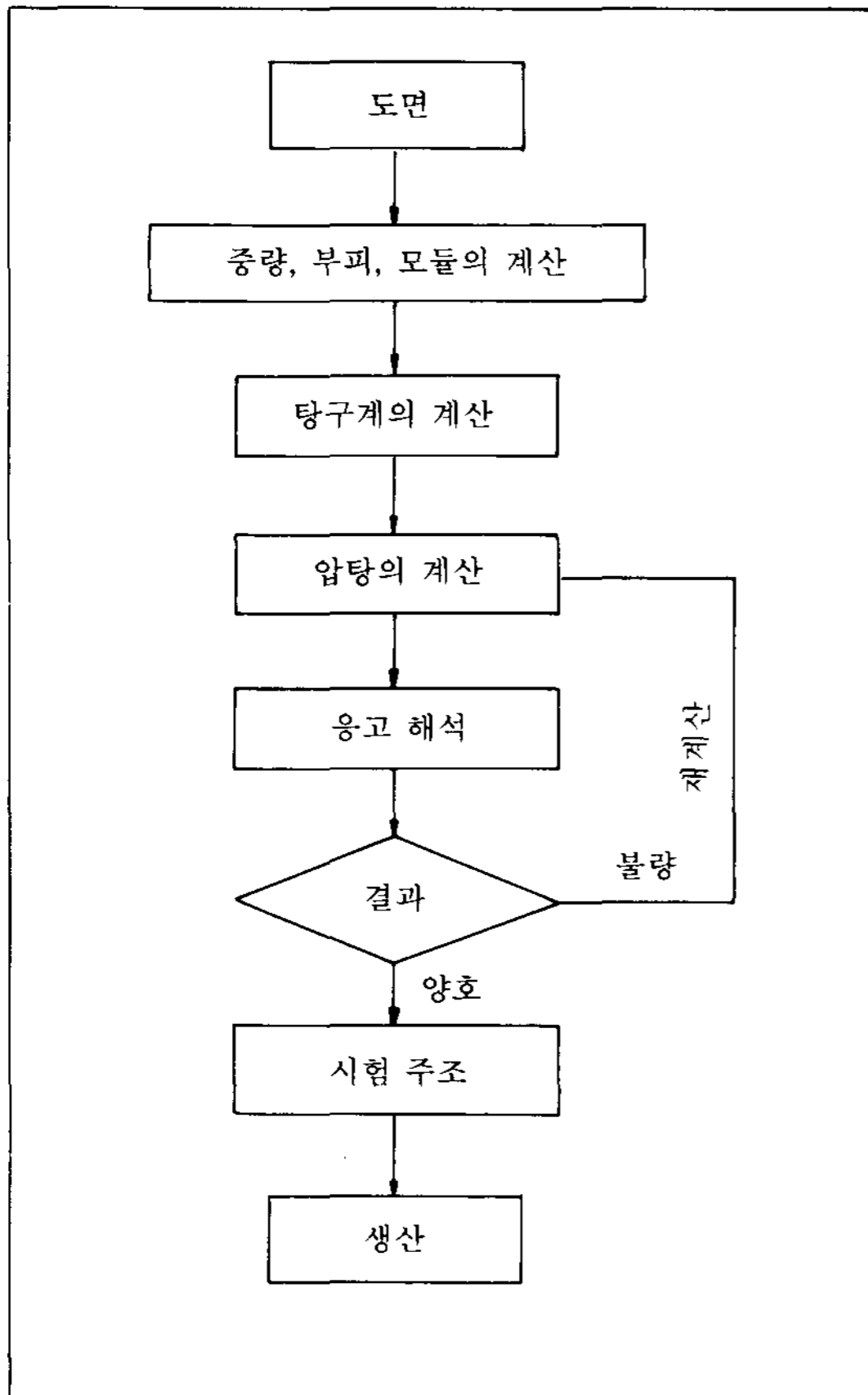


그림 1. 구조방안 설계의 계통도

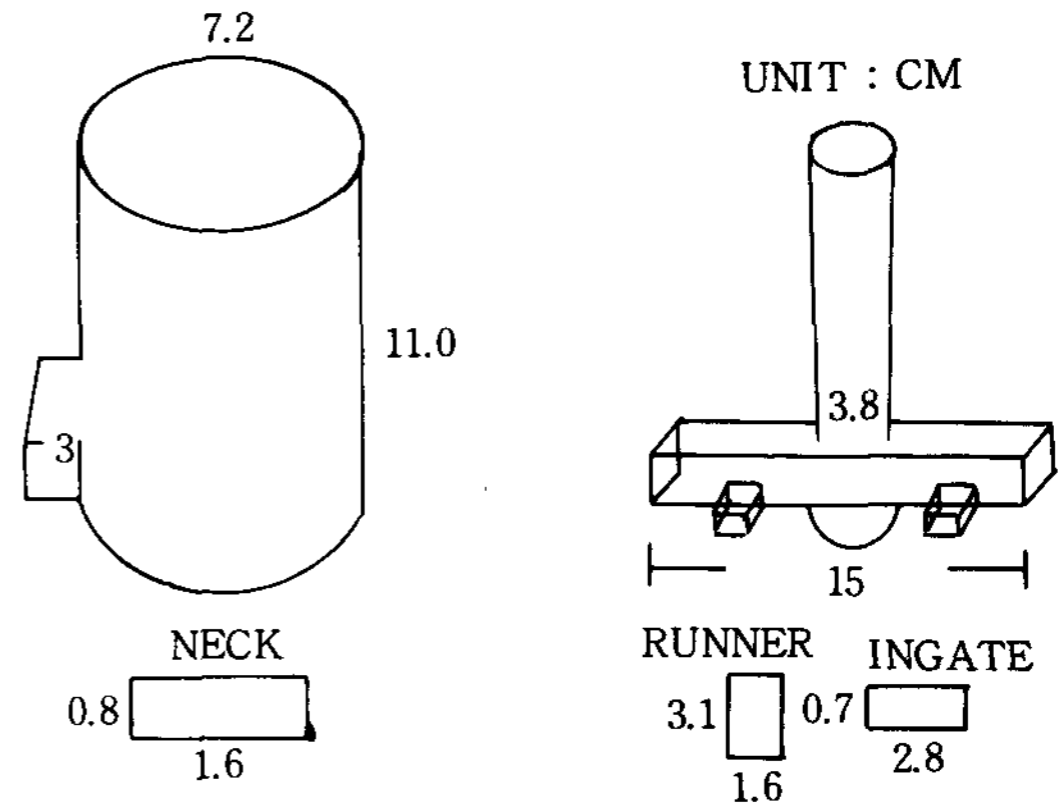


그림 3. 탕구 및 압탕치수 계산의 실행예

선택할수 있는 단순 형상들의 예와 계산 결과의 예를 나타내었다.

2.2 압탕 및 탕구계의 치수계산

압탕, 압탕목의 치수 및 탕구계 각부의 치수를 chvorinov's equation 및 모듈러스 개념에 의한 압탕계산식과 베르누이정리와 손실계수등을 이용한 탕구계산식에 의하여 계산한다. 그림 3에 탕구, 압탕 계산 소프트웨어에 의한 계산예를 나타내었다.

(a) 단순형상들의 선택 예

**** 부피 · 중량 및 모듈의 계산결과 ****

No	부 피 (CM 3)	방열표면적 (CM 2)	모듈러스 (CM)	응고순서
7	251.3	125.7	2.0	1
15	1243.6	829.0	1.5	2
2	60.0	82.0	0.73	3
총부피(CM3)		1554.9		
총중량(KG)		11.4		
총방열 표면적(CM 2)		1036.7		
모듈러스(CM)		1.5		

(b) 부피, 중량 및 모듈의 계산결과

그림 2. 중량, 부피 및 모듈계산의 실행예

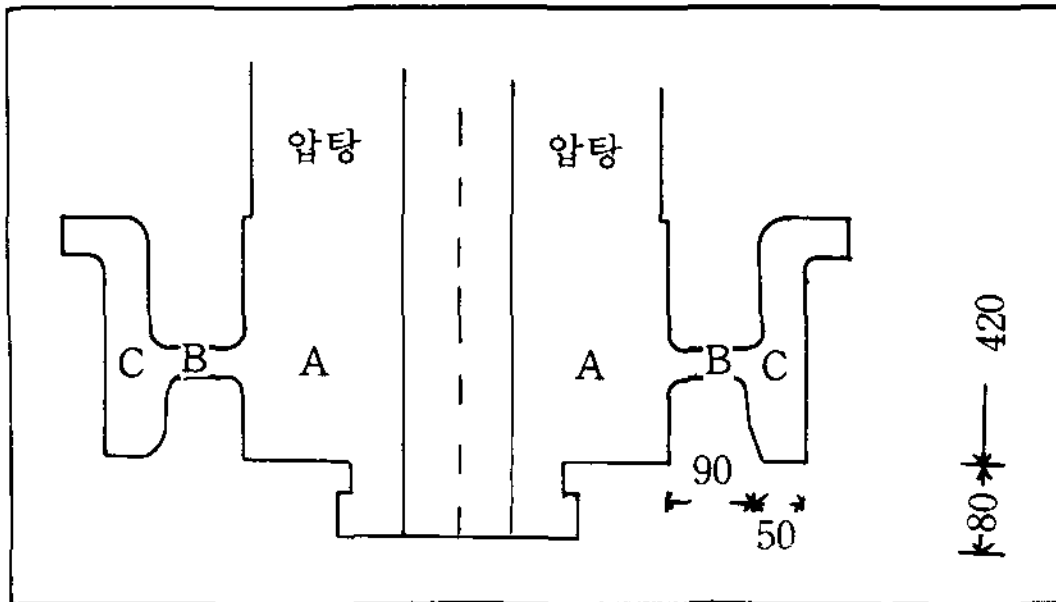


그림 4. 휠주물의 단면

2.3 응고해석

수치해석방법에 의하여 주물의 응고과정을 해석하여 주조수축결함을 예측한다. 해석방법(Simulation tool)은 차분법에 의한 열전달해석과 잠열계산을 온도회복법, 수축공 예측은 등온도 곡선법 또는 온도구배법 등을 포함한다.

응고해석에 의하여 주물의 최종응고부위의 예측, 압탕의 적부판정, 방향성 응고의 설계, 질, 슬리브의 성능확인 등이 가능하다.

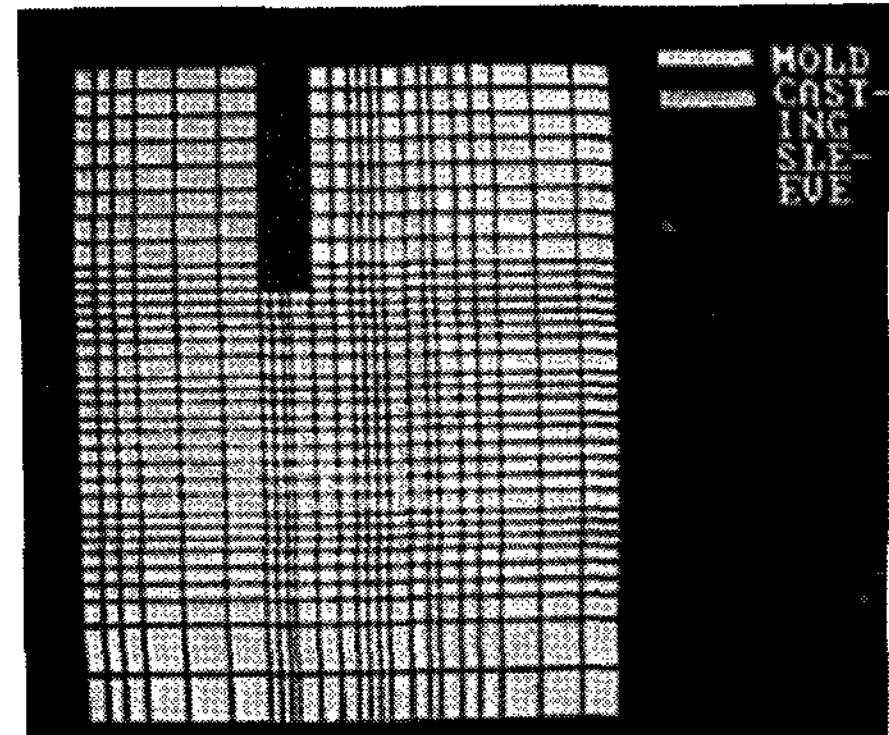
2.3.1 2차원 응고해석

그림 4-6에 2차원 응고해석의 실행예를 나타내었다. 휠주물을 예로 하였으며 그림 4에 단면을 나타내었다. 대칭면을 중심으로 2차원 단면을 응고해석을 하였다. 그림 5의 (a)는 2차원요소 분할도이며 압탕에는 슬리브를 사용하였다. (b)는 온도구배에 의하여 결함을 예측한 것으로 C부위에 수축결함이 발생한 것을 나타낸다. (c)는 응고온도에 의한 등고선을 나타낸것으로 C부위에 등고선의 페루프가 생긴것을 나타내고 있다. 즉 B부위가 먼저 응고 됨으로써 C부위가 B부위를 통로로 하여 압탕으로부터 급탕 되어야 하나 그렇지 못하고 폐쇄됨으로써 수축결함이 발생하는 것을 나타낸다.

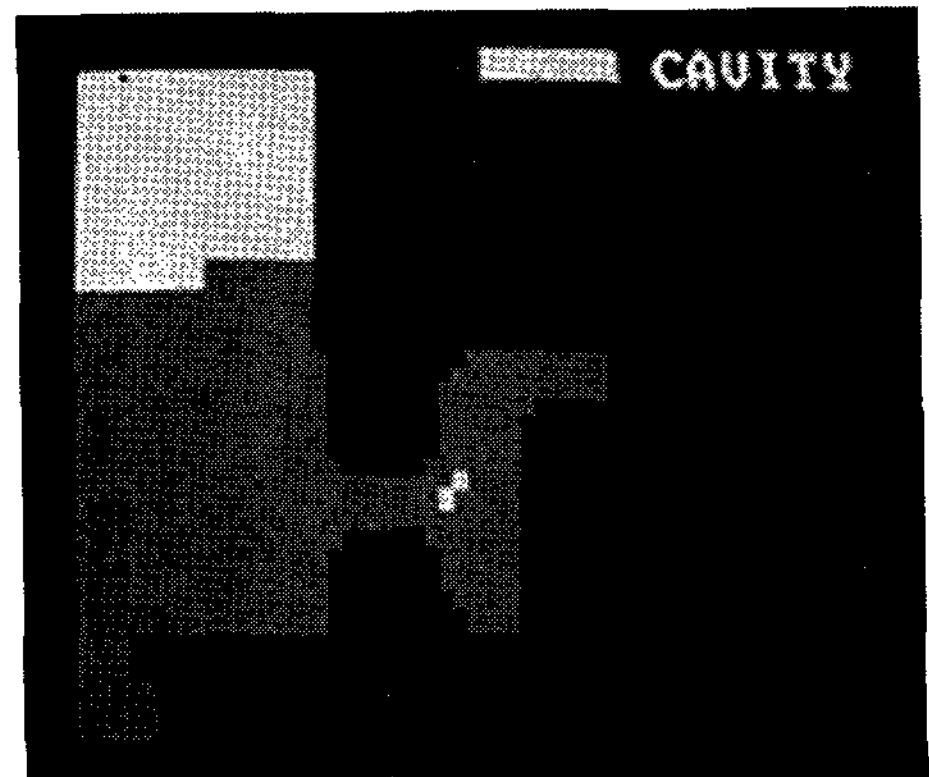
그림 6은 B부위의 두께를 더크게 늘려서 해석한 결과이다. B부위를 통하여 C부위로 압탕으로부터 급탕이 순조롭게 되어 결함이 제거 된것을 (b) (c)로부터 알수있다.

2.3.2 3차원 응고해석

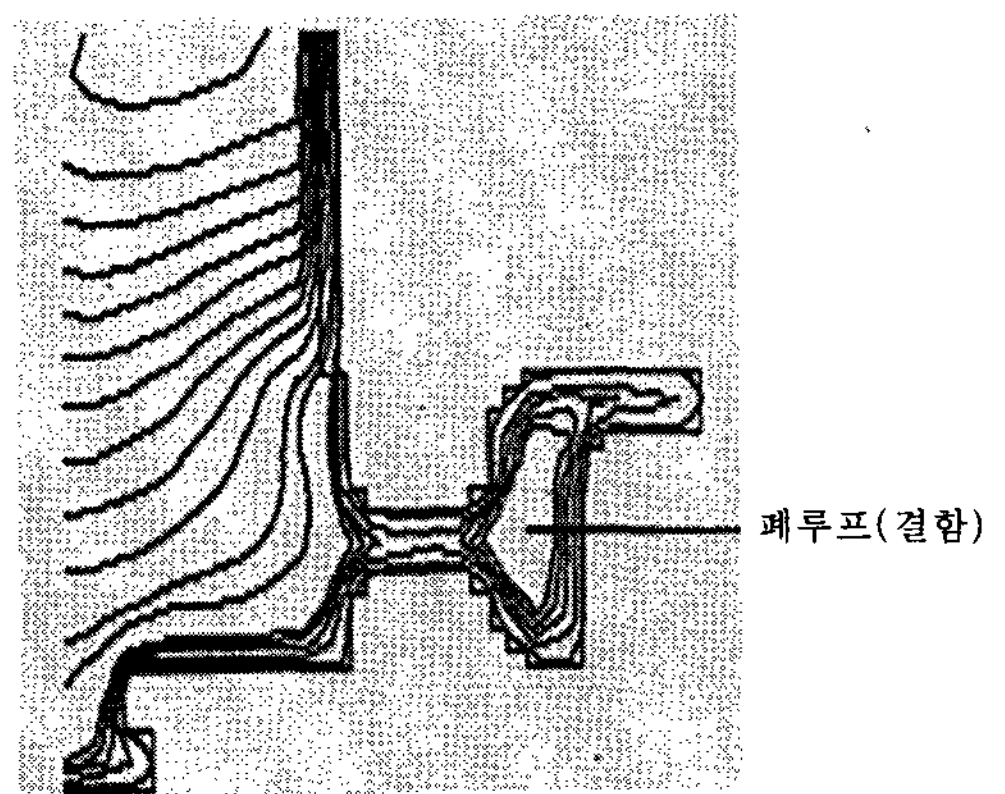
3차원 응고해석을 위한 modeling sample로써 주강제 밸브를 선택하였으며 다음과 같은 세가지 Case로 나누어서 3차원 응고해석을 하였다.



(a) 요소분할도



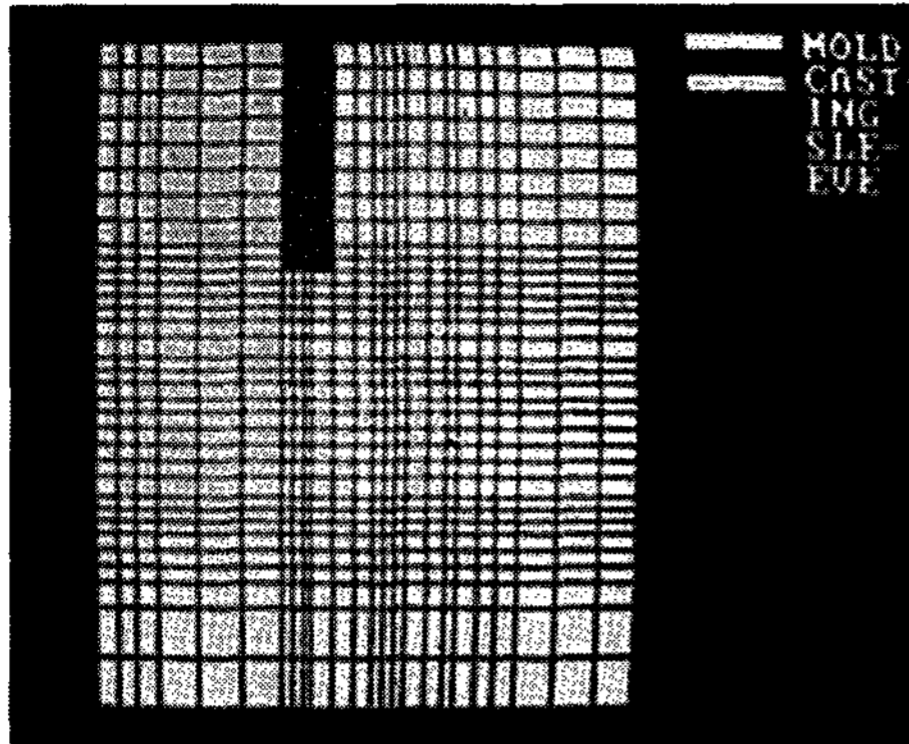
(b) 결함예측도(G/\sqrt{R})



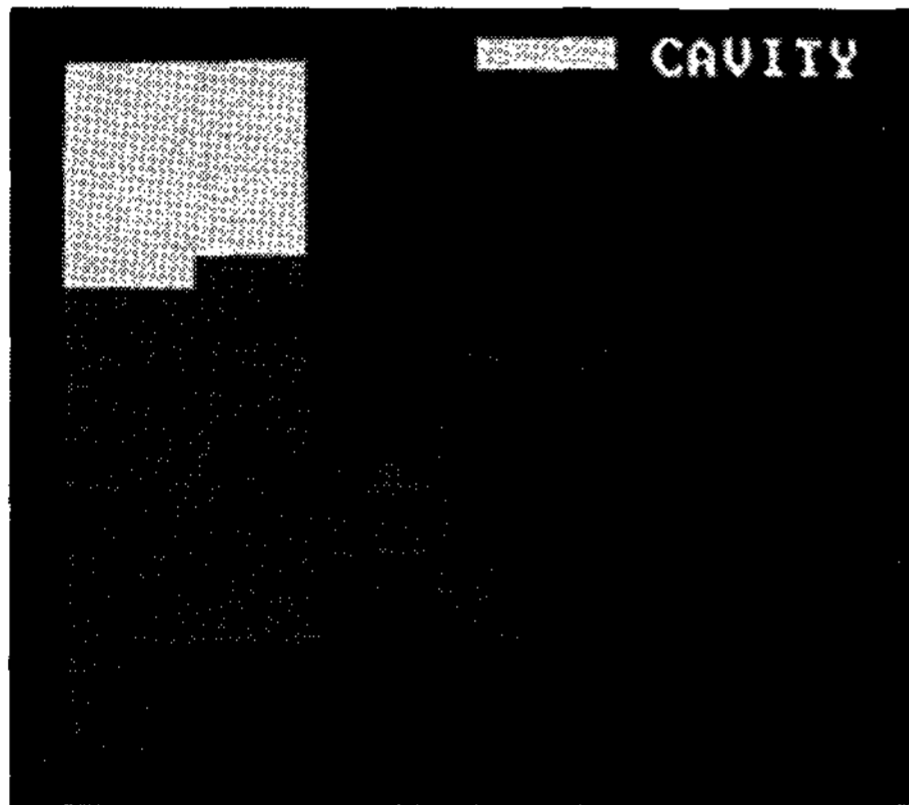
(c) 응고온도 등시선 페루프(결함)

그림 5. 2차원 응고해석의 실행예 I

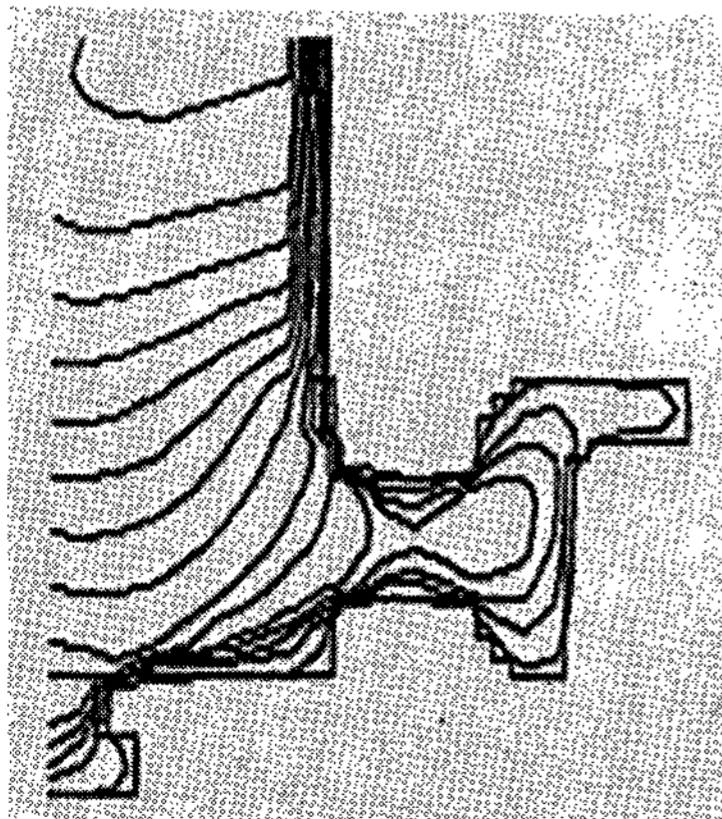
- Case(I) : 압탕을 설치하지 않았을 경우
- Case(II) : 부적당한 압탕을 설치했을 경우
- Case(III) : 적당한 압탕을 설치했을 경우



(a) 요소분할도



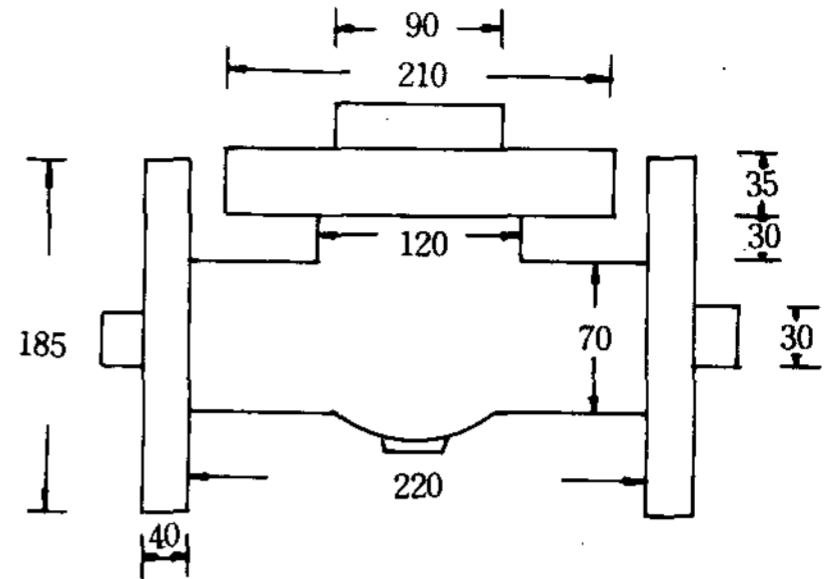
(b) 결함에측도($G\sqrt{R}$)



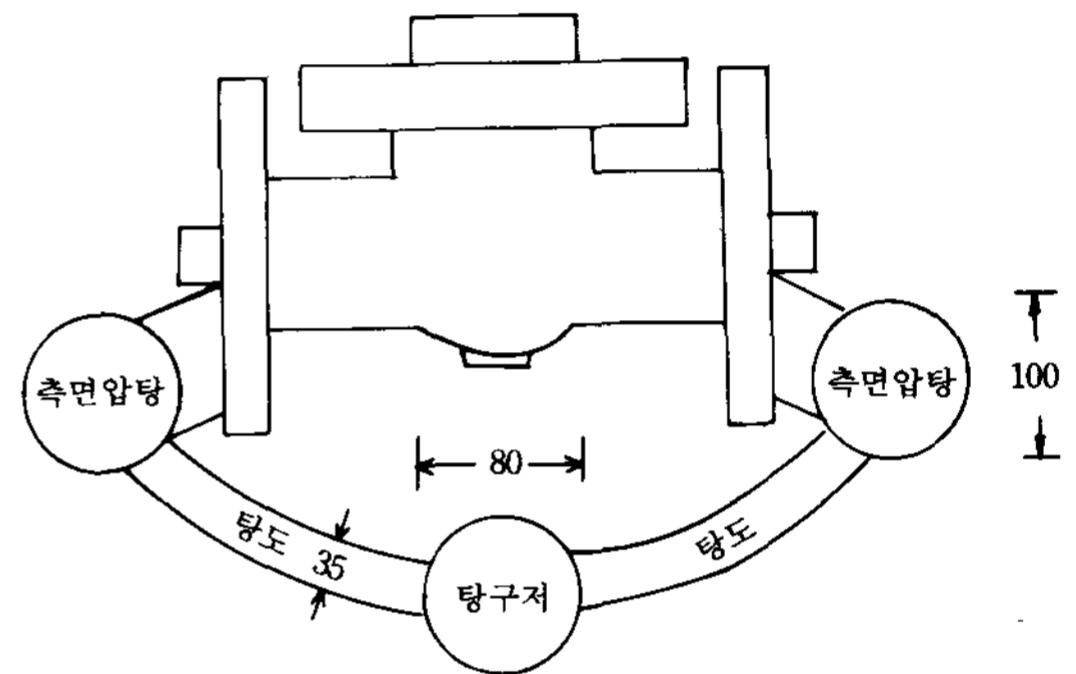
(c) 응고온도 등시선

그림 6. 2차원 응고해석의 실행예 II

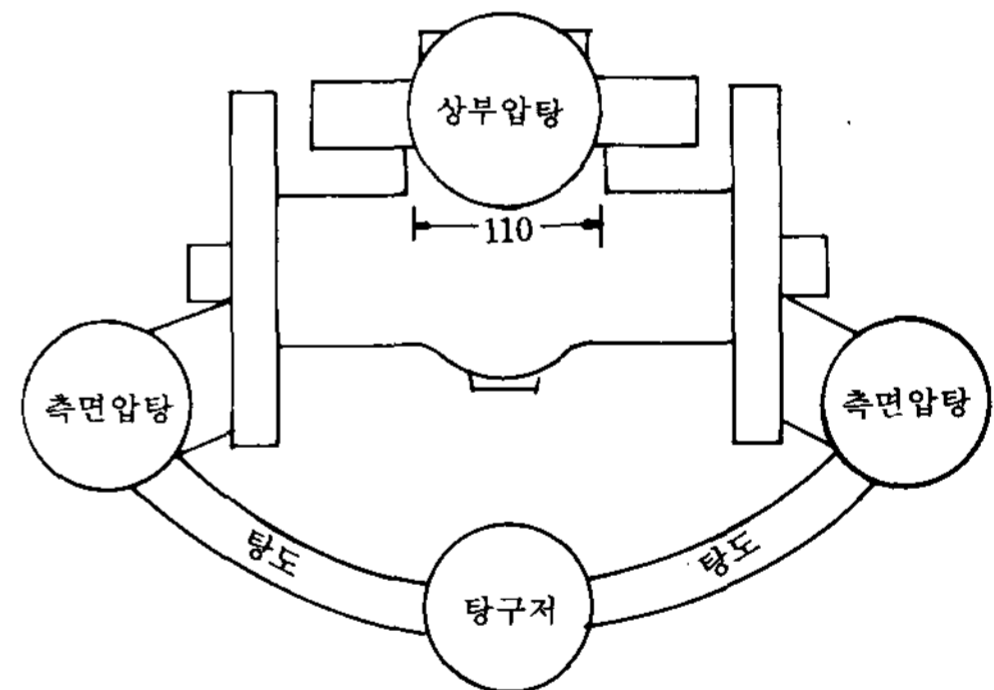
그림 7에 밸브주물에 대한 주물, 압탕, 탕구계의 형상 및 치수를 나타내었다. 그림 8에 압탕을 설치하지 않았을때의 (Case I) 주강밸브의 3 차원



(a) 압탕을 세우지 않았을 경우(case I)



(b) 부적당한 압탕방안의 경우(case II)



(c) 적당한 압탕방안의 경우(case III)

그림 7. 밸브주물의 형상 및 치수

응고해석 결과를 나타내었다. 3 차원 응고해석은 2차원 응고해석에 비하여 훨씬 많은 양의 요소분할이 필요하게 된다. 예를 들어 2차원의 경우 X : 35, Y : 44로 분할할경우 총요소수는 1,540 개이다. 3 차원의 경우는 Z : 40 이라고하면 총요소수는 61,600개이다. 이와 같이 2 차원의 경우와는 비교가 안될정도로 많은 양의 요소분할 수가 필요하다. 따라서 2 차원에 비해계산시간도 월등하게 길어지게 된다. 그러므로 3 차원 응고해석의 경우

표 1. 응고해석에 사용된 물성치 및 초기치의 예

물성치 재료	밀도 (g/cm ³)	비열 (Cal/g·°C)	열전도도 (Cal/cm·s·°C)		잠열 (Cal/g)
탄소강 (주조금속)	7.85	20~200°C:0.122	20~200°C:0.115	64	
		200~400°C:0.140	200~400°C:0.100		
		400~800°C:0.148	400~800°C:0.059		
		1200 °C:0.156	800~900°C:0.071		
사형 (주형)	1.65	0.25	0.004		-
물성치 재료	액상선 온도(°C)	고상선 온도(°C)	초기온도 (°C)	주위온도 (°C)	열전달계수 (Cal/cm·s·°C)
탄소강 (주조금속)	1503	1357	1590	20	주조금속/주형 0.05
사형 (주형)	-	-	-	20	주형/대기 0.0005

32bit P/C에서 dos 를 OS/2로 채택해야만 비교적 원활하게 운용되어질 수 있다. 밸브의 경우 좌우대칭이므로 대칭면을 중심으로 절단하여 절단면을 단열로 하고 밸브의 절반부분만을 해석하였으며 요소수는 약 50,000개 이다. 그림 8-b는 해석결과를 횡방향으로 절단하여 중심면의 응고 온도 등시선을 나타내었다. a, b, c의 세부위에 페루프가 생긴것을 알수 있다. 한편 그림 8-c는 측면후렌지 부위의 응고온도 등시선을 나타내고 있다. a,b의 리브에 의한 부분이 축열되어서 페루프가 생겼으며 또한 상부후렌지와 인접한부위 c에 페루프가 생긴것을 알수 있다. 이같이 그림 8-b,c를 종합하여 판단해볼때 상부후렌지의 중앙부위에 수축결함이 발생하며 측면후렌지와 리

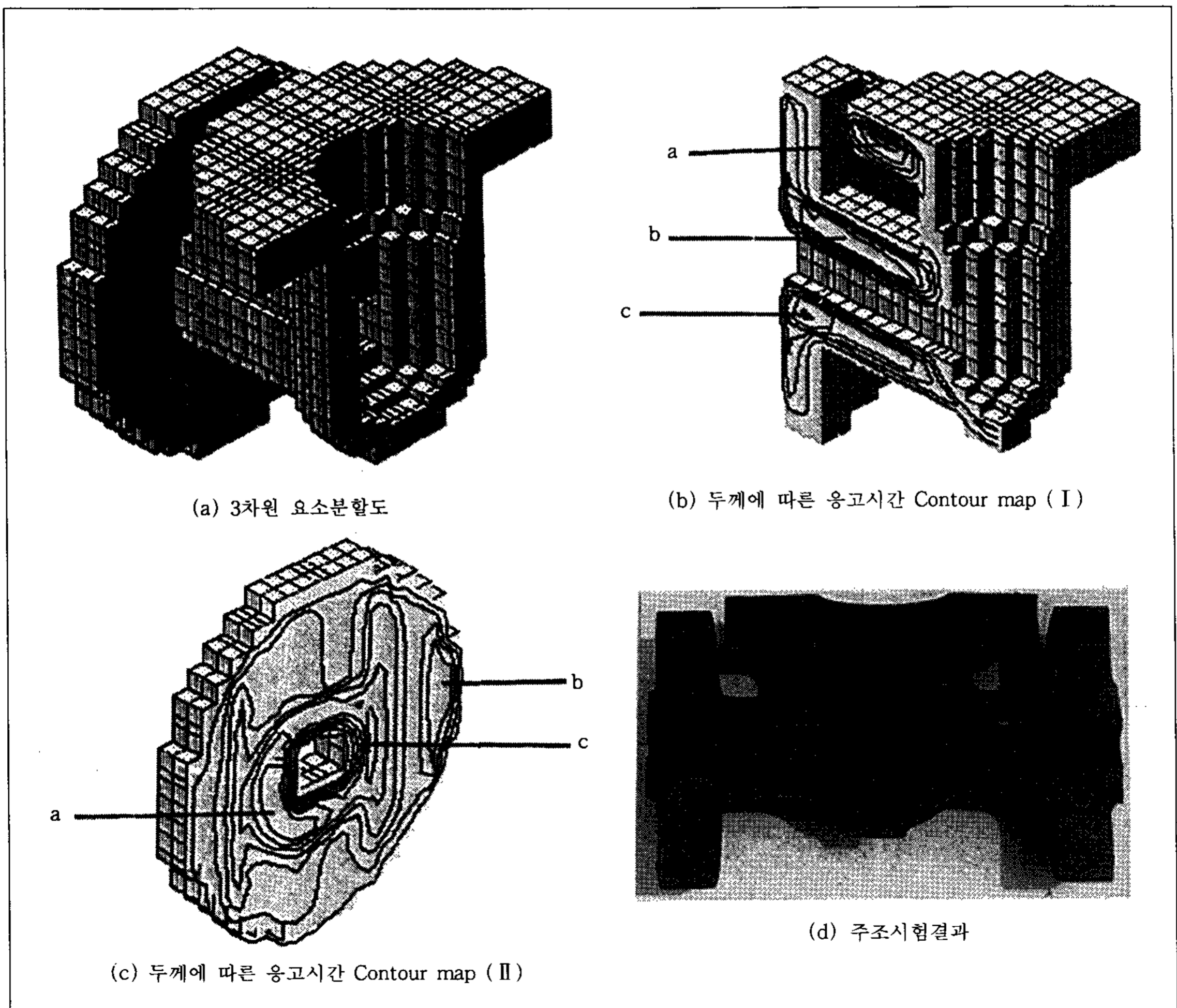


그림 8. 3차원 응고해석의 실행예(case I)

브가 연한 곳에 “L”자형의 축열부위가 형성되어 수축결함이 발생하고 또한 측면후렌지의 상부후렌지와 인접한 상단부위에 수축결함이 발생할 것으로 예측할 수 있다.

그림 8-d에 실제 구조시험한 결과를 나타내었다. 그림에서 검은색의 동그라미로 표시한 부분들이 수축결함을 나타낸다. 실제로 상부후렌지와 또한 측면후렌지와 리브가 연한 “L”자형의 축열부위 상하부에 수축결함이 발생한것을 나타내고 있다. 한편 측면후렌지의 상부후렌지와 인접한 상단부에는 실제로는 수축결함이 발생하지 않고 있음을 알수 있다. 그림 9에 측면후렌지에 측면맹압탕을 설치하여 해석한 경우를 (case II) 나타내었다. 그림 9-6에서 볼때 상부후렌지의 중앙(a)과 측면후렌지의 상단부의 리브에 연한 “L”자형 축

열부위(b). 그리고 하단부에 연결된 측면맹압탕의 중심부(c)에 페루프가 발생한 것을 알수 있다. 한편 그림9-c에서 볼때 측면후렌지의 하단에 압탕목부위와 연결된 부위(a)에만 페루프가 발생하고 있다. case I에서 나타났던 상부후렌지와 인접한 상단부에서의 페루프는 제거되었음을 알수 있다. 이같은 결과들을 종합하여 볼때 특히 측면후렌지의 상부 “L”자형 축열부위에서는 수축결함이 제거되었다고 할수 있다. 왜냐하면 비록 그림 9-b에는 그 부위에 페루프(b)가 나타나고 있지만 그림 9-c에서 볼때 측면후렌지의 상단부에서는 페루프가 생기지않고 응고가 아래로 진행되어서 압탕목과 연결되는 부위에만 페루프가(a) 생겼으며 또한 그림 9-b에서 측면후렌지의 하단에서는 압탕목을 거쳐 압탕으로 응고가 방향성 있

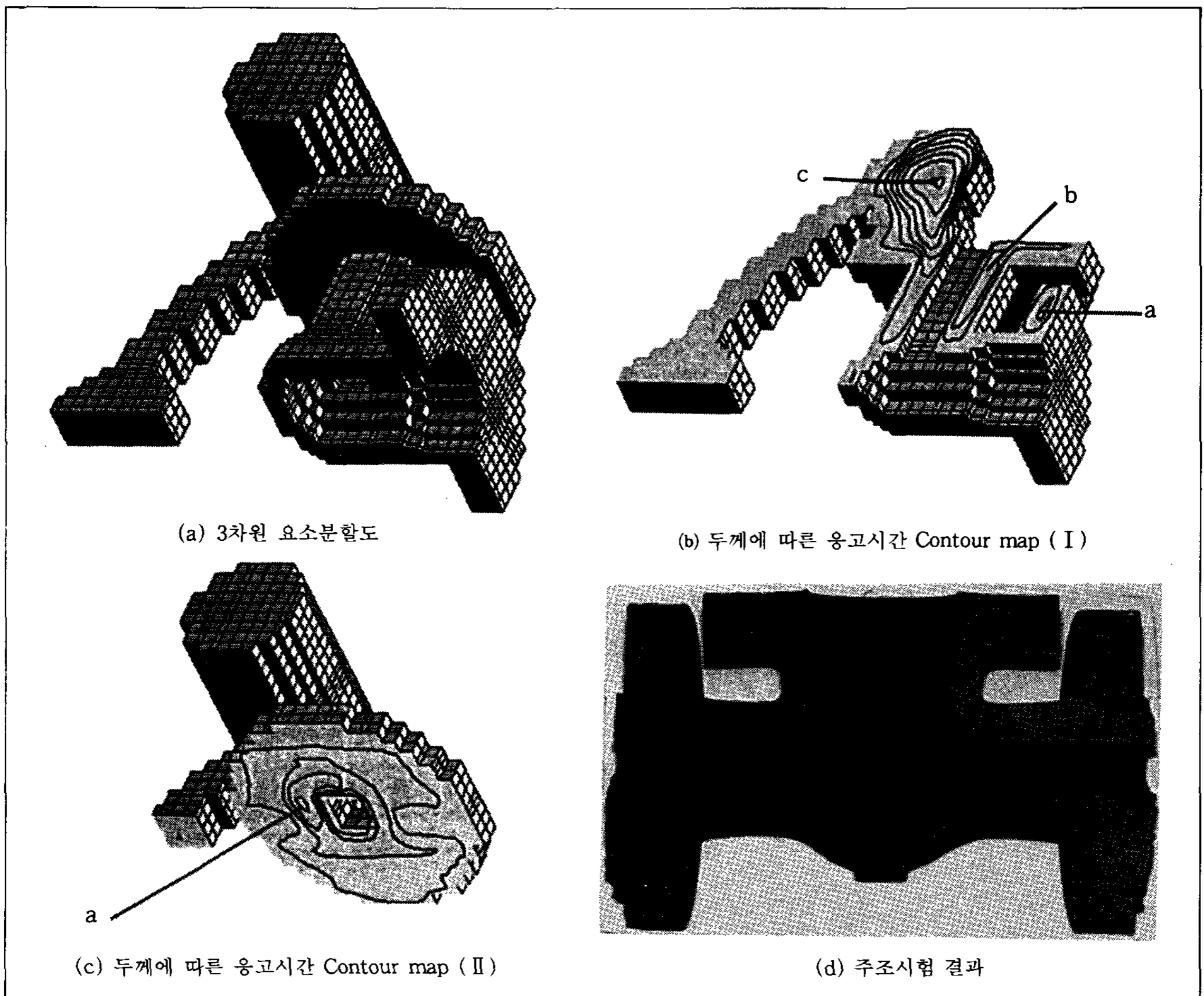
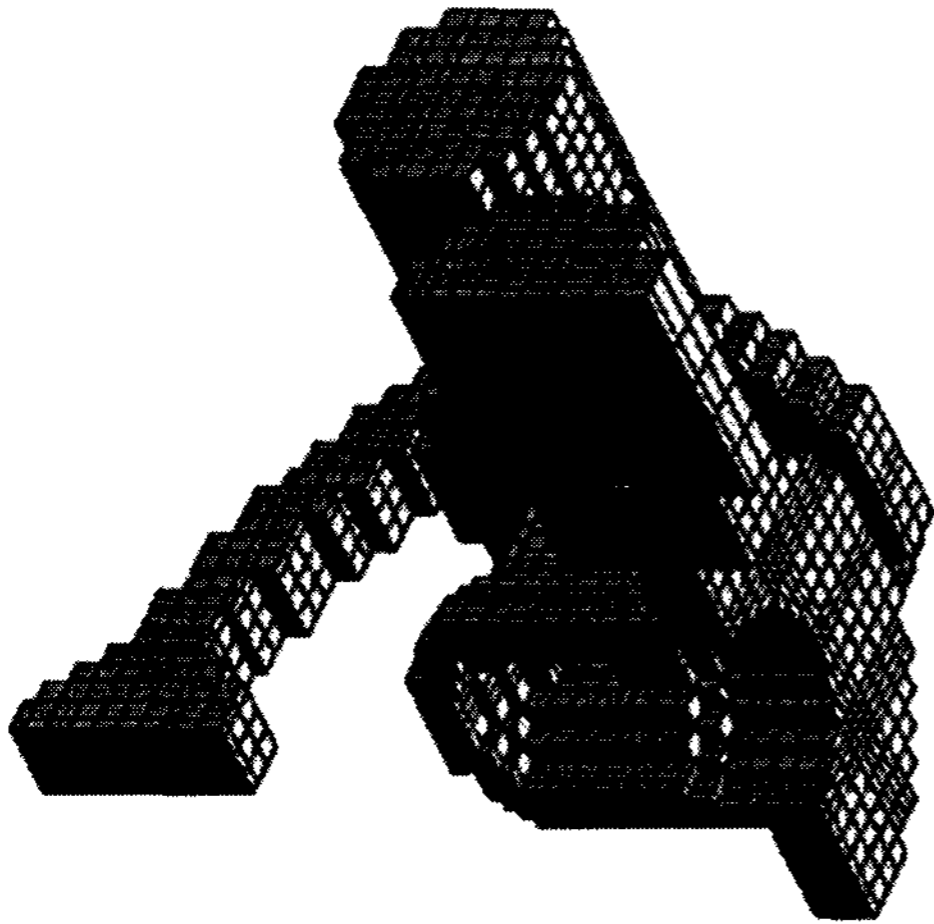
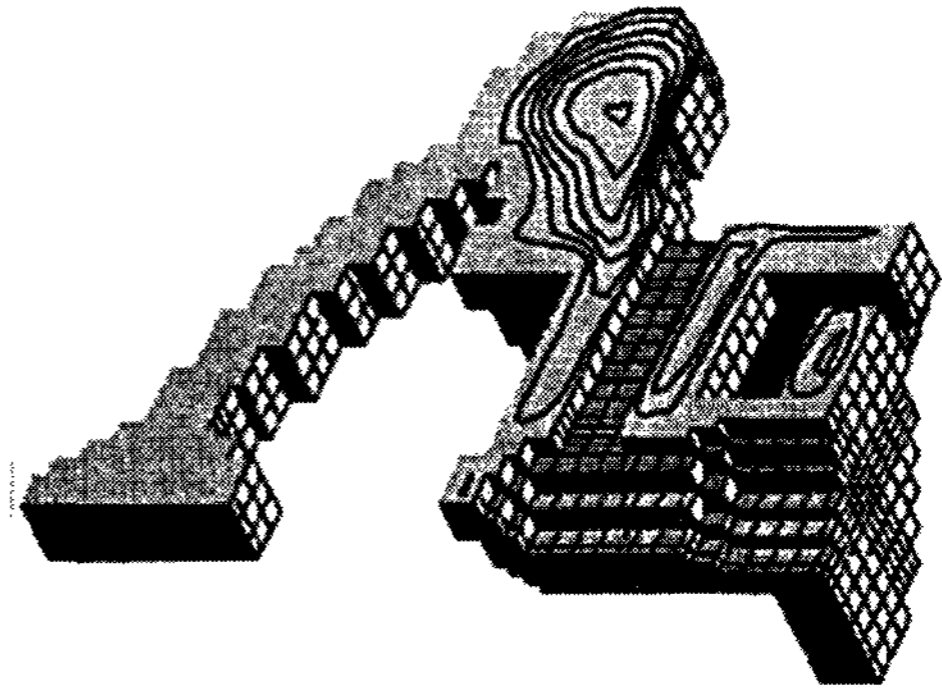


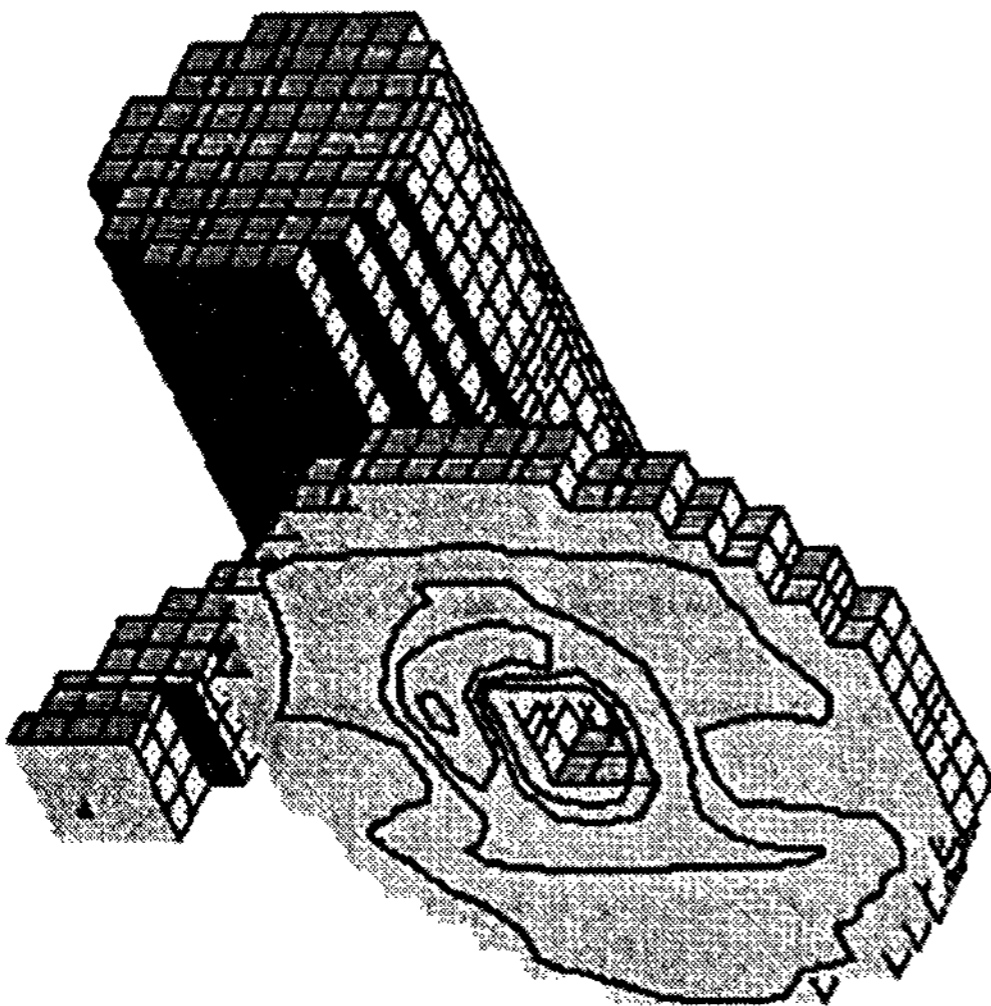
그림 9. 3차원 응고해석의 실행예 (case II)



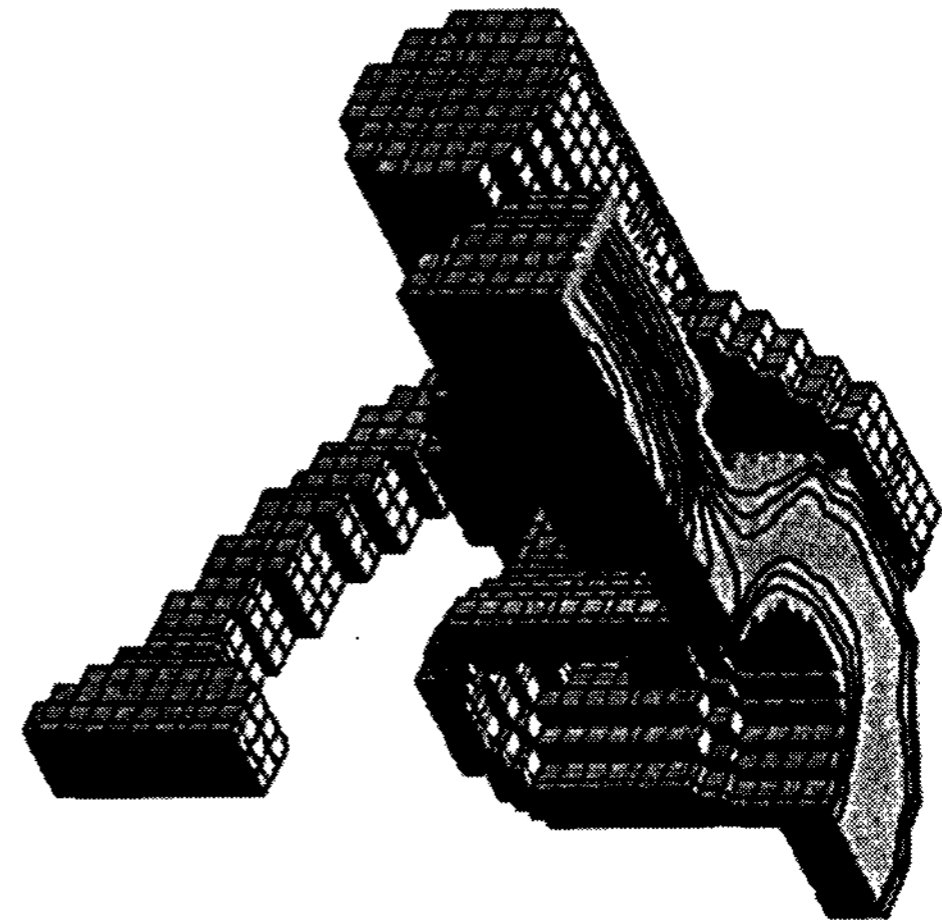
(a) 3차원 요소분할도



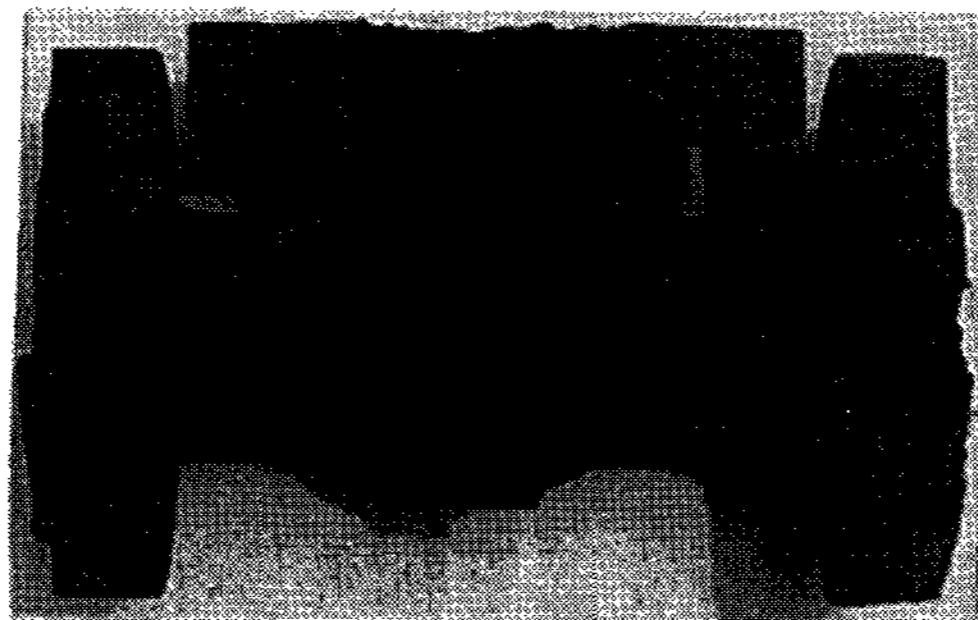
(b) 두께에 따른 응고시간 Contour map I



(c) 두께에 따른 응고시간 Contour map (II)



(d) 두께에 따른 응고시간 Contour map (III)



(e) 주조시험 결과

그림 10. 3차원 응고해석의 실행예 (case III)

게 진행되고 있음을 알 수 있기 때문이다. 즉 측면 후렌지에서는 상부의 리브와 접한 “L”자형 축열 부위부터 하부를 거쳐 압탕으로 방향성응고가 진행됨으로 압탕의 충분한 급탕에 의하여 수축결함이 발생하지 않는다고 할 수 있다. 한편 상부후렌지에서는 페루프가 하부쪽으로 이동되지 못하므로 수축결함이 그대로 발생될 것으로 예상된다.

그림 9-b에는 case II에 대한 주조시험결과를 나타내었다. 역시 검은색의 동그라미로 표시한 부분들이 수축결함을 나타내고 있다. 그림에서 볼 때 상부후렌지 부위에만 수축결함이 발생한 것을 나타내주고 있으며 이는 응고해석에 의해 예측한 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

그림 10에는 측면맹압탕과 상부압탕을 설치했을 경우(case III)에 대해 해석한 결과를 나타내었다. 그림 10-(b),(c)는 앞의 case II의 그림 9와 동일하게 나타났다. 즉 측면후렌지와 리브부위는 측면맹압탕에 의해 급탕이 이루어져서 수축결함이 발생하지 않음을 알 수 있다. 한편 상부후렌지의 결함여부는 그림 10(c),(d)를 비교 검토함으로써 판단할 수 있다.

즉 그림(c)에서는 상부후렌지에 페루프가 생기고 있으나 그림(d)에서는 상부후렌지로부터 상부압탕쪽으로 응고가 상향하여 진행하고 있음을 나타내고 있다. 즉 상부후렌지는 상부압탕쪽으로 방향성응고가 진행되어 압탕으로부터 충분한 급탕이 이루어지고 있다고 판단할 수 있다. 그러므로 이 경우에는 정상적인 압탕방안으로 인하여 수축결함이 없는 건전한 주물이 될 것으로 예측할 수 있다. 그림 10(e)에는 실제 주조시험한 결과를 나타내었다. 예측한 결과와 동일하게 수축결함이 없는 건전한 주물을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

이상에서 얻어진 결과를 종합하여 볼 때 case I, case II, case III의 세가지 경우에 대하여 각각 3차원 응고해석을 하여 얻어진 두께에 따른 응고시간 contour map의 결과를 종합, 판단하여 수축결함의 발생여부 및 발생위치를 예측한 결과는 실제 주조시험결과와 상당히 잘 일치함을 알 수 있다.

3. 결 언

컴퓨터를 이용한 주조방안 설계기술은 고도의 과학적인 주조기술이라고 할 수 있다. 이러한 기술을 주조방안 설계자들이 습득, 활용함으로써 보다 정확한 주조방안의 설계가 가능하며 이를 통한 주조불량의 감소, 생산성 향상 등의 효과를 기대할 수 있다. 특히 이들 소프트웨어는 주조금속 및 주형의 물성치를 알면 모든 주조재질 및 프로세스에 공통적으로 적용할 수 있으며 사용방법만을 알면 컴퓨터에 관한 초보자도 쉽게 소화하여 활용할 수 있으므로 전문기술 인력 부족에 대한 대체효과도 기대할 수 있는 등 그 파급효과가 매우 클 수 있을 것으로 기대되어진다. 국내에서는 아직까지 전산화 기술의 적용실예가 많지 않으나 고부가가치 주물의 수요증대와 더불어 보다 과학화된 주조기술이 요구되어지는 현실에 비추어 볼 때 이러한 기술의 보급이 매우 필요한 실정이라 할 수 있다. 현재에는 주조학회에서 전산화 분과위원회를 중심으로 한 산학연의 협력활동이 매우 활발히 추진되고 있으며 수년내로 국내에도 전산화기술이 널리 확산되어질 수 있을 것이라 생각되어진다.

참 고 문 헌

1. 최정길, 김동옥, 홍준표: Physical Metallurgy of cast iron IV, MRS(1990), p441
2. 최정길, 김동옥, 홍준표: 제55차 국제주물학회 한국대표논문(1988, 모스크바), 주조 1989 Vol 19, No 1, P 39
3. 최정길, 정운재, 김동옥: 한국기계연구소 소보 1987
4. 이영철, 김종원, 홍준표: 주조, 1989, Vol 19, No 1, P 67
5. 최정길, 이영상: 국책과제 보고서(“주조방안 전산화 개발연구(I)-(III)”)
6. コソピュータ傳熱・凝固解析入門: 大中逸雄
7. 素形材 鐵物學校 “コソピコータによる鑄造技術計算入門” 1982. 大中逸雄