

# 클라우드 컴퓨팅기반 사출공정 해석 기술

글 \_ 최영심, 홍준호, 황호영, 김정태 \_ 한국생산기술연구원 사이버 설계센터 \_ raycute@kitech.re.kr

## 1. 서론

사출 성형은 열가소성 수지 가공법 중에서 고품질의 제품을 효과적으로 생산하는데 널리 이용되는 공정으로 수지를 가열해서 유동 상태로 된 재료를 금형의 공동부(캐비티)에 가압 주입하여 금형 내에서 냉각 시킴으로써 금형 공동부에 상당하는 성형품을 만드는 방법이다. 사출 금형은 재료의 유동성 등의 성질을 이용하여 재료를 성형 가공하여 제품을 생산하는 도구로 제품을 제작하기 위해서는 여러 제조공정이 소요되며 각 공정의 특성에 맞는 금형의 가공 작업이 수반된다. 금형 기술은 이론과 현장기술이 복합된 현장 지향형의 복합기술로 현장인력의 경험에 의해 기술이 전수되어 왔다. 장비와 컴퓨터의 발달로 CAE 해석기법이 발달하였고 1980년대 상용 사출공정 해석 프로그램이 출시되었다. CAE기술을 제품 기획 단계부터 적용하여 시행착오를 줄이면서 획기적인 비용과 시간 절감을 이룬 최적설계가 가능하게 되었다. CAE는 제품의 기획/설계, 제조단계에서 비용, 시간, 생산을 적극적으로 고려한 최적설계를 구현하는데 강력한 기반 기술이나, 산업현장에서는 비싼 구축비용과 유지비용, 전문 인력부족 등으로 인해 폭넓게 사용되지 못하고 있다. 특히 금형 업체는 <광업·제조업 통계조사보고서>(통계청, 2001~2006)에 따르면 종업원 수 20인 이

하의 영세업체가 대부분이다.

CAD와 CAE를 비롯하여 한 단계 위의 최적화와 전문 디지털 성능 시뮬레이션 모델 같은 공학 솔루션과 소재부품 엔지니어링 데이터 등 디지털 콘텐츠의 거의 대부분이 중소기업이 쓰기에 부담스러운 매우 고가의 외국산이다. 그러므로 컴퓨터 기술을 이용한 온라인 공간에서의 CAE 활용 시스템은 실제 현실에서 요구되는 여러 제품 제작과정을 생략할 수 있을 뿐만 아니라, 새로운 소재에 의한 설계과정을 시뮬레이션을 통해 미리 예측할 수 있어 최적의 제품의 생산을 가능하게 할 수 있는 기술적 대안으로 제시된다. 당 센터에서 운영하고 있는 CAE의 클라우드 웹 서비스를 통하여 소비자가 CAE 프로그램을 직접 구입할 필요 없이 적은 금액의 사용료만 지불하고 쓸 수 있다.

본 논문에서 클라우드 컴퓨팅을 기반으로 하는 CAE 해석 서비스인 ISC를 소개하고 사출공정 해석 프로그램인 ISCMold 콘텐츠 개발과 ISCMold에 사용되고 있는 FEM 기반 해석 기술을 개발하였다. 또한 ISCMold의 편리한 사용을 위해 FDM 기반 사출 해석 기술을 개발 중에 있다. FDM 기반 격자에서도 FEM 기반 사출 해석 기술과 유사한 정확도를 얻기 위해 FVM 기반 Cut Cell 방법을 적용한 사출 해석 기술을 개발 중에 있다.

## 2. 클라우드 컴퓨팅 기반 사출공정 서비스

### 2.1 ISC

ISC는 Internet Simulation Center의 약자로서 클라우드 컴퓨팅 기반 CAE 콘텐츠를 서비스한다. 6대 생산기반분야를 제공하는 것을 목적으로 하고 있으며 현재 주조공정, 열처리공정, 사출공정 분야를 서비스하고 있다.

클라우드 컴퓨팅은 현재 많은 분야에서 활성화되고 있다. 클라우드 컴퓨팅이라는 개념은 구름 속에 컴퓨팅 자원이 가려져 있고, 사용자들은 자신이 사용하는 자원이 어디 있는지 모르지만, 인터넷을 통해 언제, 어디서나 서비스를 받을 수 있다는 것이다. ISC 센터의 클러스터 시스템은 약 100여대의 연산을 위한 클러스터 및 각종 서비스의 컨트롤 및 모니터링 그리고 웹 서비스를 위한 서버군과 사용자 접속의 보안강화를 위한 보안관련 장비들로 구성되어 있다. 연산을 위한 서버는 각 노드 당 8개의 코어 및 32GByte의 메모리를 갖고 있으며, 서버간의 MPI (Message Passing Interface)형 병렬연산을 지원하기 위한 고속통신라인인 2배속 인피니밴드가 설치되었다.

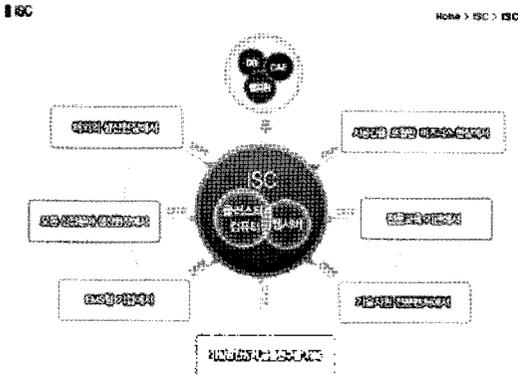


그림1. ISC 메인 페이지

## 2.2 ISCMold

### 2.2.1 ISCMold 실행

당 센터에서는 ISCMold 라 명명한 클라우드 컴퓨팅 기반 사출공정 해석 콘텐츠를 운영하고 있다. ISCMold는 냉각 해석, 열유동 해석, 휘 해석 공정으로 이루어져 있으며 오프라인에서 사용되고 있는 사출 상용 프로그램들과 유사한 서비스를 제공하고 있다. 각 공정 별 해석결과에서 제공하고 있는 pre-post UI는 다음 표와 같다.

표 1. 공정 별 pre-post UI

냉각해석	균형 벽면 온도
	제품 온도
	냉각라인 표면 온도
	냉각라인 입/출구 온도 편차
	냉매 유량
열유동해석	냉매 레이놀즈수
	냉각채널 효율
	충전패턴, 유량, 유동방향
	압력, 온도, 밀도, 속도 벡터
	부피 수축률
휨해석	월드라인
	에어트랩
	시간 별 형체력
	축 방향 휨량
	전체 방향 휨량

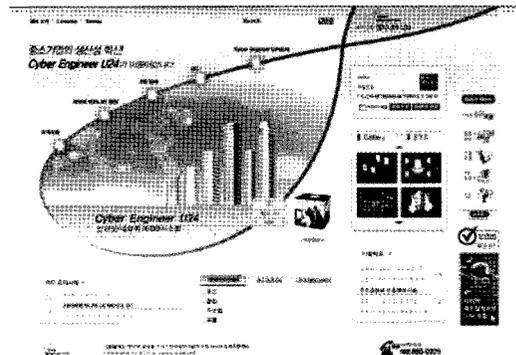


그림2. 사이버엔지니어 U24 홈페이지(www.etekzon.co.kr)

ISMold의 실행은 당 센터의 사이버엔지니어 U24 홈페이지에 접속하여 할 수 있다. 본 홈페이지에는 ISC 서비스 뿐 아니라 형상 DB, 정보 DB 등 다양한 데이터베이스를 구축하고 있어 실 사용자들의 편의를 도모하였다.

ISC서비스는 Microsoft사의 Internet Explorer를 통해 사용하여야 한다. 그 이유는 ISC서비스에 사용되는 클라이언트 어플리케이션이 윈도우기반으로 개발되었으며, ActiveX기반의 기술을 사용하고 있기 때문이다.

ISC를 사용하기 위해서는 홈페이지 회원가입과 별도로 ISC 회원가입을 신청하고, ISC 관리자의 승인 후에 사용이 가능하다. 이때 ISC 관리자는 회원에게 승인안내 메일과 함께 ISC 전용 아이디와 패스워드를 발급하게 된다. 그 후 ISC 콘텐츠 페이지에서 사출을 선택한 후 ISC 클라이언트, ISCMold를 설치하여 사용할 수 있다. 기존의 사용자가 ISC웹에 접속할 경우, 클라이언트 버전이 자동 체크되어, 최신의 클라이언트가 자동으로 인스톨된다. ISC 클라이언트가 실행되면, 시뮬레이션 하고자 하는 제품의 STL파일을 불러온 후 간단한 정보를 입력하여 시뮬레이션을 진행한다.

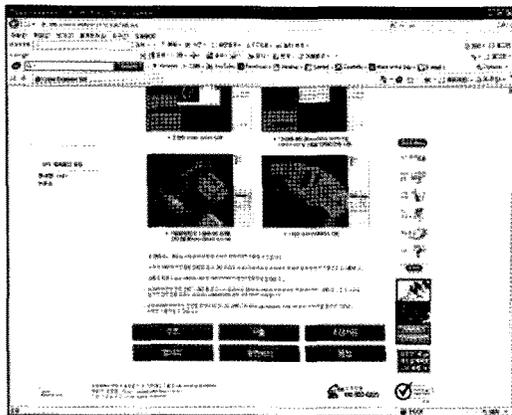


그림3. ISC 콘텐츠 페이지

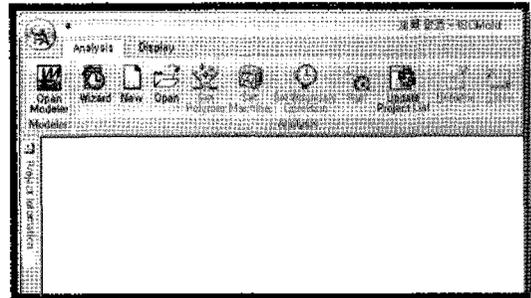


그림4. ISCMold 메인 화면

### 2.2.2 ISCMesher

사출공정 해석을 하기에 앞서 모델링 파일을 이용하여 ISC 전용 모델러인 ISCMesher를 통해 해석용 유한요소를 생성한다.

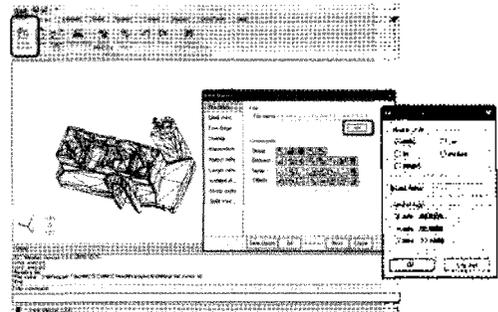


그림5. 파일 열기

ISCMesher의 기능은 다음과 같다.

- 캐드파일(STL) 읽기
- 표면 요소 자동생성(삼각형)
- 요소 품질 체크
- 요소 수정/삭제
- 솔리드 요소 자동 생성
- 런너/냉각채널 요소(ID) 생성

ISCMesher는 스튜디오에서 [Open Modeler] 아이콘으로 시작할 수 있다.

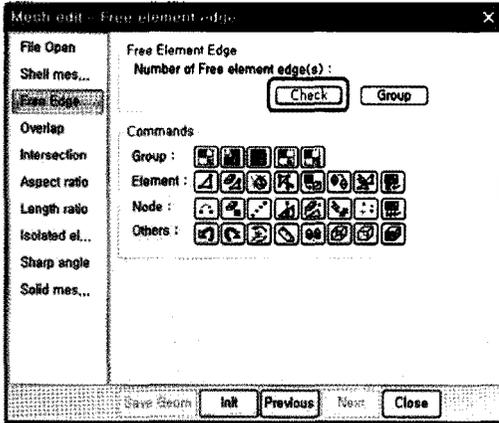


그림6. Mesh 편집기

### 2.2.3 온라인 보안기술 구축

서버들이 인터넷으로 연결되어 있다면, 서버가 위치하는 곳에 관계없이 해킹에 노출된다는 의미를 나타낸다. 그러한 문제에 있어서, 서버가 위치하는 장소의 문제보다는, 실제로 서버를 운용하는 주체 및 보안, 그리고 해킹에 대한 대처능력이 데이터 안정성을 보장하는 키워드로 중요시 되고 있다. 인터넷 베이스 사출



그림7. 모델링 파일의 전송 여부

ISC 서비스를 사용하는 것에 있어서 가장 주안점은 시뮬레이션에 사용될 금형 모델 데이터의 보안이다. ISC 시스템은 사용자의 개인 컴퓨터에 시뮬레이션 어플리케이션을 설치한 후 ISC모듈러를 통한 모델링 파일 수정, 해석 조건 지정 등을 로컬 컴퓨터에서 설정하게 되어있고 클러스터 시스템으로 모델링 파일의 전송여부는 사용자가 결정할 수 있게 되어있다.

그 외 사용자계정정보 및 입력정보들은 SSL(Secure Sockets Layer)를 통해 암호화되어 전송되며, 각종 보안기술에 의한 사용자계정의 보안도 강화되어 있다.

## 3. 사출공정 해석 기술

### 3.1 FEM 기반 해석

전통적으로 사출공정 해석 기술은 FEM(Finite Element Method) 기반으로 많이 이루어져 왔으며 오프라인에서 판매되고 있는 타 상용 사출공정 해석 프로그램들은 FEM 기반이다.[1,2] ISCMold 역시 FEM 기반 사출공정 해석 기술을 사용하고 있다.

다음은 FEM 기반 ISCMold 에서 실행한 유동과 냉각 해석 결과를 나타낸 것이다. 보압 해석 기술은 차년도에 ISCMold에 탑재할 계획이다.

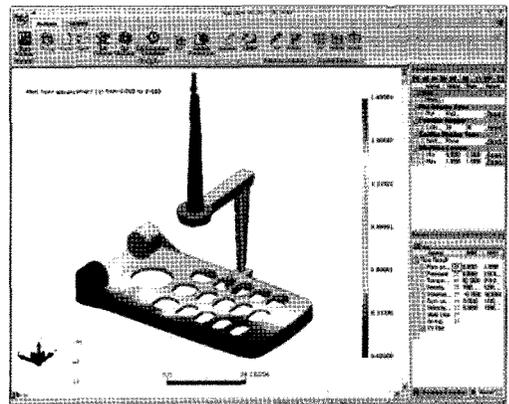


그림8. ISCMold 유동 해석 결과

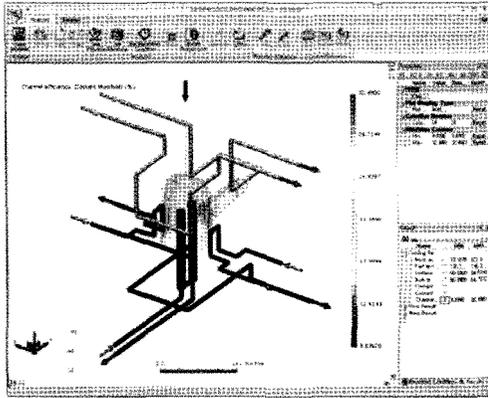


그림9. ISCMold 냉각채널 해석 결과

### 3.2 FDM 기반 해석

수치해석에서 가장 처음 단계의 작업은 격자 생성이다. 형상에 맞는 정확한 격자는 해석의 정확도를 향상시킨다. 이를 위해 형상 고정 격자계 (body-fitted coordinate; BFC)를 많이 사용한다. 이 격자계는 양질의 해를 얻을 수 있는 반면 격자생성에 상당한 노력을 요구한다.[3]

일반적으로 FEM 기반 사출공정 해석 기술은 형상 고정 격자계 (body-fitted coordinate; BFC)를 사용하며 비정렬격자로 생성한다. 사면체 격자는 종종 격자 품질에 문제가 발생하는데 이것을 해결하기 위해 ISC-

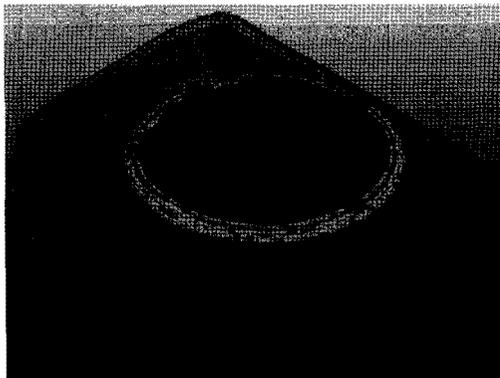


그림10. FDM 기반 사출공정 유동 해석 결과

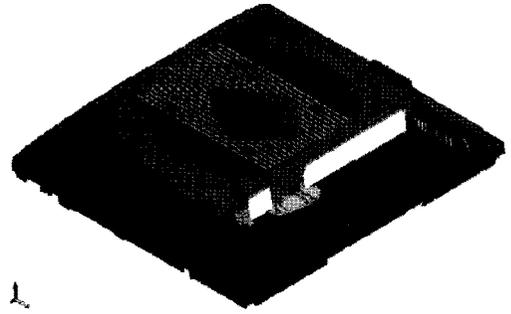


그림11. FDM 기반 사출공정 유동 해석 결과

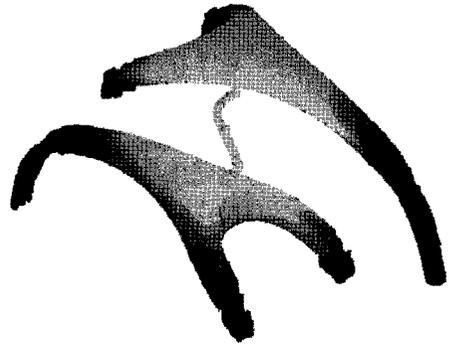


그림12. FDM 기반 사출공정 유동 해석 결과

Mold에서는 ISCMesher를 사용하여 수정하게 된다. 문제는 이러한 수정작업이 지나치게 많거나 또는 유한 요소 격자 생성 프로그램 숙련자가 아닐 경우 격자 생성 단계에서 소요되는 시간이 많다는 것이다. 실제로 FEM 기반의 경우 해석 전 단계인 격자 생성 시간이 실제 해석 시간보다 오래 걸리는 경우가 많다.

숙련된 기술자가 아닌 일반 사용자가 ISCMold를 좀 더 손쉽게 활용할 수 있도록 격자생성이 간단한 Cartesian grid system에서 FDM(Finite Difference Method) 기반 사출공정 해석 기술을 개발하고 있다. 이 격자계는 형상의 외관에 상관없이 직교방향으로 격자를 생성하기 때문에 특별한 기술 없이도 격자 생성이 쉬우며 격자 생성 시간도 오래 걸리지 않는다.

그림 9, 10, 11은 FDM 기반으로 사출공정의 유동을 해석한 결과를 나타낸 것이다. 현재 유동 해석 기

술이 개발 중에 있으며 앞으로 냉각 해석과 보압 해석을 추가할 계획이다.

### 3.3 FVM 기반 해석

FDM 기반 사출공정 해석 기술에서 사용하는 격자계는 Cartesian grid system이다. 이 격자계는 앞서 설명한 것과 같이 격자 생성이 쉽고 격자생성을 위한 특별한 기술이 필요 없다. 그러나 경사면이나 곡면을 가지는 제품의 격자를 생성하면 계단 형상으로 격자가 생성되는데, 이러한 방식 때문에 직교 격자계는 원래의 형상과는 일치하지 않는다(그림 12 참조). 형상과 일치하지 않는 계단 격자는 유동해석 결과에 안 좋은 영향을 미친다. 예를 들어 모멘텀의 손실, 그로 인한 속도 저하 및 올바르게 않은 충전 거동 등이 있다.[4] 이런 문제들을 해결하기 위한 간단한 방법은 Cartesian 격자계를 사용할 때 해석하려는 형상이 최소한 올바르게 표현될 수 있도록 격자수의 생성을 단순 증가시키는 것이다. 격자수의 증가는 형상의 변형으로 생기는 최소한의 문제를 해결할 수 있으나 원래의 형상이 지나는 곡면이나 사선 부분이 계단형상으로 변경되어 발생하는 근본적인 문제들을 해결할 수 없다. 이런 문제점들을 해결하기 위해서 고전적으로 사용해왔던 BFC 격자계를 쓰는 방법이 아닌, Cartesian 격자계에서 격자에 캐비티가 차지하는 양을 이용하는 Cut Cell 방법이 주조공정 열유동 해석을 위하여 개발되었다.[5] 이 방법은 FDM 기반에 FVM(Finite Volume Method) 방법을 결합시킨 해석 기술이다.

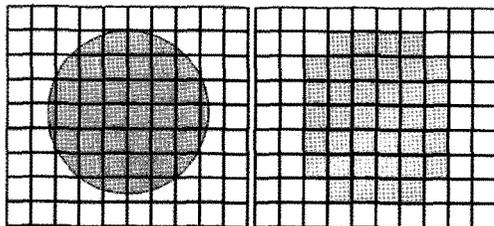


그림13. 모델링과 생성된 격자계

그림 13은 Cartesian grid system에서 Cut Cell 방법을 사용하지 않은 해석결과(좌)와 Cut Cell 방법의 해석 결과(우)를 나타낸 것이다. 곡면의 형상에서 Cut Cell 방법을 사용하였을 경우, Cut Cell에서 나타날 수 있는 모멘텀 손실 등이 개선된 것을 알 수 있다.

현재 개발된 Cut Cell 방법을 사출공정 유동해석에 적용을 고려하고 있다.

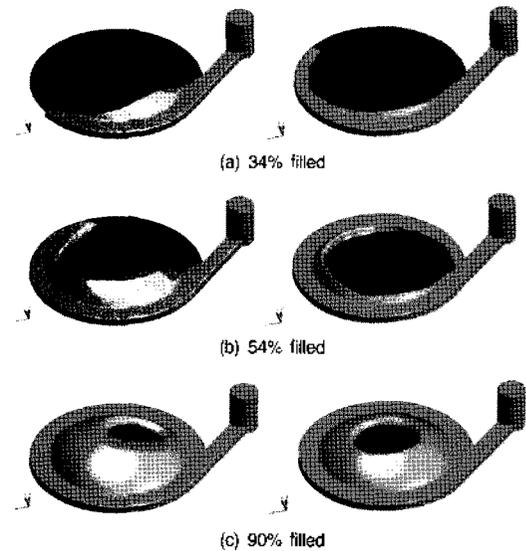


그림14. Cut Cell 방법 해석결과[5]

### 4. 결론

열가소성 수지 가공법 중의 하나인 사출 성형은 고정밀, 고품질의 제품을 효과적으로 생산하는데 널리 이용되고 있다. 사출 성형을 위한 금형 기술은 이론과 현장기술이 복합된 현장지향형의 복합기술로 현장인력의 경험에 의해 기술이 전수되어 왔으나 시대의 변천에 따라 CAE 해석기법이 발달하였고 1980년 대 상용 사출공정 해석 프로그램이 출시된 이래, 제품 생산 전 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 이론적 해석으로 성형 불량 현상 등을 미리 예측하고 있다. CAE기술의 사용으로 최적설계가 가능하게 되었으나 이러한 CAE

기술은 고가의 금액, CAE tool 을 사용할 수 있는 전문 인력부족 등으로 폭넓은 사용에 어려움이 있다. 그러므로 온라인 공간에서 tool의 구입 없이 CAE를 활용할 수 있는 시스템이 필요하다.

당 센터에서 운영하고 있는 ISC는 클라우드 웹 서비스를 통하여 소비자가 CAE 프로그램을 직접 구입할 필요 없이 적은 금액의 사용료만 지불하고 쓸 수 있다. 사출 공정 해석 콘텐츠인 ISCMold는 유동해석, 냉각해석, 휨해석이 가능하며 온라인 상에서 해석 및 그 결과를 확인할 수 있는 pre-post가 개발되었다. 또한 ISCMold의 편리한 사용을 위해 FDM 기반 사출 해석 기술을 개발 중에 있으며 유동해석 결과를 나타내었다. 사출제품은 박육제품이 많으며 제품 특성 상 곡면과 경사면을 많이 포함하고 있으므로 직교격자계를 사용함에 있어 생길 수 있는 오류를 줄이기 위해 FDM 기반 격자에서도 정확도를 향상 시킬 수 있는 FVM 기반 Cut Cell 방법을 적용한 사출 해석 기술을 개발 중에 있다.

## 각주

본 서비스는 지식경제부의 "사이버 제조설계 시뮬레이션 기술 확산 사업"의 일환으로 제공되고 있다.

## 참고문헌

1. 김범호, 장우진 외, "CAE를 이용한 사출성형의 최적화". 화학공학, Vol.41, No.5 pp. 577-584, 2003.
2. 장우진, 조정환 외, "컴퓨터지원 공학(CAE)을 이용한 기체 사출 성형의 공정 개선". Polymer(Korca), Vol.28, No.3, pp.263-272, 2004.
3. D.M. Ingram, D.M. Causon et al., "Developments in Cartesian cut cell methods". Mathematics and Computers in Simulation, Vol.61, pp.561-572, 2003.
4. P.G. Tucker and Z. Pan, "A Cartesian cut cell method for incompressible viscous flow". Applied Mathematical Modeling, Vol.24, pp.591-606. 2000.
5. Y. S. Choi, J. H. Hong and H. Y. Hwang, " Mold Filling Simulation with Cut Cell in the Cartesian Grid System". International Journal of Cast Metals Research, Vol.21, pp. 334-337, 2008.