

비밀

“우수교육 충북21 산학 공동 연구”

계약서

연구과제명 : IPS Nano Etch 3000에 대한 자장 계산 및 개스 유동 해석

계약연구기간 : 2002. 7. 15. ~ 2003. 7. 14 (12개월)

연구비 : 일금 30,000 천원 (₩ 30,000,000)

계약당사자 :

(갑) : (주) 아이피에스 (IPS LTD.)

(을) : 충북대학교 우수교육 충북21 사업단장

연구책임자(병) : 윤남식

위 우수교육 충북21 사업단에서 수행하는 산학공동 연구과제(이하 ‘연구과제’라 한다.)의 수행에 관하여 (갑)과 (을) 및 (병)은 다음과 같이 계약을 체결한다.

제 1 조 (연구과제의 목표 및 내용)

본 연구과제의 목표 및 범위는 별첨의 연구과제 수행계획서와 같다.

제 2 조 (신의성실 및 상호협조)

① (갑)과 (을)과 (병)은 신의를 가지고 산학공동 연구 운영 규정(이하 “지침”이라 한다) 및 본 계약서의 각 조항을 성실히 이행하고, 제1조의 목표달성을 위하여 최대한 노력을 하여야 한다.

② 계약연구기간 동안에 (갑)과 (을) 및 (병)은 연구과제 수행에 관하여 긴밀하게 협조하여야 한다.

제 3 조 (연구과제의 수행)

① (병)은 지침 및 본 계약서에 따라 연구를 성실히 수행하여야 한다.

② (갑)은 (병)의 업무수행을 감독하며, (병)과 함께 연구과제의 목표달성을 위하여 최대한 지원하여야 한다.



제 4 조 (연구비의 청구 및 지급)

① (갑)은 (을)에게 별첨1의 연구과제 수행을 위하여 다음과 같이 연구비를 지급한다.

제 1 차 : 2002 년 7 월 31 일 15,000 천원(₩ 15,000,000)

제 2 차 : 2003 년 1 월 10 일 15,000 천원(₩ 15,000,000)

② 제1항의 연구비는 (갑)의 자금사정을 고려하여 지급일 및 지급액을 변경할 수 있다.

제 5 조 (연구비의 사용 및 관리)

① (을)은 제4조에 따라 지급된 연구비를 우수교육 충북21 사업단에서 관리하는 계정에 관리하여야 하며, 연구목적 외의 타용도에 사용해서는 안된다.

② (병)은 관리지침에 의거 예산변경이 불가피한 경우에는 (을)의 승인을 얻어야 한다.

③ 제2항에 의한 연구비의 변경은 특별한 경우를 제외하고는 연구기간 종료일 1개월 이내에는 연구비의 변경을 인정하지 않는다.

제 6 조 (연구비 사용실적 보고)

① (을)과 (병)은 제4조에 따라 지급된 연구비에 대하여 영수증 또는 세금계산서 등의 정상적인 비용지출에 관한 증빙서류를 보관하여야 한다.

② (병)은 지침에서 정한 양식에 의거하여 제7조에 의한 연구결과의 보고 시 연구비 사용실적을 보고하여야 한다.

제 7 조 (연구결과의 보고)

(병)은 중간보고서를 연구개발 개시 후 6개월 후, 최종 보고서는 연구개발 종료 후 1개월 이내에 (갑)과 (을)에게 제출하여야 한다. 이 경우 (갑)과 (을)은 (병)이 제출한 연구결과 보고에 대하여 보완을 요구할 수 있으며 (병)은 이를 보완하여야 한다.

제 8 조 (비밀 보장)

① (갑), (을)과 (병)은 상대방의 승인 없이는 본 연구와 관련하여 취득한 상대방의 비밀을 외부에 공개할 수 없다.

② (갑), (을)과 (병)은 본 연구 개발 결과를 공개하거나 발표할 경우 반드시 상호간에 사전 승인을 한 후에 해야 한다.

제 9 조 (산업 재산권 및 발생품의 귀속)

① (상기의 연구개발 수행 과정에서 발생한 기자재, 연구시설, 현물 투자 분 및 시제품등에 대한 유형적 발생 품은 (을)의 소유로 한다. 단, 동 연구 개발의 결과로서 산업재산권을 취득하고자 할 경우에는 (갑)과 (을)을 공동으로 한다.

② 상기 연구개발로 획득한 산업 재산권의 사용은 (갑)과 (을)로 하며, 제 3자에게 대여, 이관 또는 판매함으로 발생되는 수익에 대해서는 (갑)과 (을)의 공동 소유로 한다. (단, 동 산업재산권을 이용하여 “갑”이 생산한 장비를 제 3자에게 판매하는 경우는 “판매”에 해당하지 아니한다)

제 10 조 (계약의 변경 및 해약)

(갑)과 (을)은 서로의 요청이 있거나 필요한 경우에는 계약사항 및 연구 수행계획의 내용을 변경할 수 있다.

제 11 조 (관련자료의 제출 등)

(병)은 (갑)과 (을)이 지정하는 자의 연구과제 수행현장의 참관, 관계서류의 열람, 관계자료 제출 요청 등에 성실히 응해야 한다.

제 12 조 (해 약)

① (갑)과 (을) 중 일방이 본 계약을 해약하고자 할 때에는 1개월 전에 서면으로 통보해야 한다.

② 본 계약이 해약되었을 경우에 (을)은 기 수령한 자금 중 실제 프로그램 운영에 사용한 자금을 제외한 금액을 (갑)에게 반환하여야 한다.

제 13조 (부록의 운용)

(갑)과 (을) 및 (병)은 협의하여 본 계약의 변경 또는 추가사항 발생시 계약상의 편의를 위하여 부록 또는 별첨을 작성하여 첨부할 수 있다.

본 계약서는 3통을 작성하여 (갑)과 (을) 및 (병)이 각 1통씩 보관한다.

별첨 1. 연구과제 수행계획서 1부.

2002년 7월 10일

(갑) 주소: 경기도 평택시 지제동 33번지

참여기업: (주) 아이피에스 (IPS LTD.)

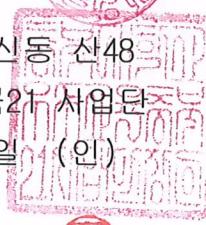
대표이사: 이 용찬 (인)



(을) 주소: 충북 청주시 흥덕구 개신동 산48

충북대학교 우수교육 충북21사업단

단장 : 김석 일 (인)



(병) 연구책임자: 윤남식 (인)



산학공동연구

연 구 과 제 수 행 계 획 서

연구과제명	국 문	IPS Nano Etch 3000에 대한 자장 계산 및 가스 유동 해석		
	영 문	B-field Calculation and Gas Flow Analysis for IPS Nano Etch 3000		
연구책임자	소 속	전기전자및컴퓨터		
	직 위	조교수	성 명	윤남식
참여기업명	(주)IPS			
연 구 인 원	2명 / 1년			
총 연구기간	2002. 7. 1. ~ 2003. 6. 31			
연구개발비	1차년도 30,000 천원			
	계	30,000 천원		

충북대학교 우수교육 충북21사업단의 산학협동활동의 일환으로 상기 산학공동연구과제를 수행하고자 합니다.

2002년 6월 20 일

신청인 윤남식



우수교육 충북21 사업단장 귀하

연구과제 수행 계획서

1. 연구개발의 필요성

▶ IPS Nano Etch 3000의 특성:

IPS Nano Etch 3000 장치가 일반적인 TCP(transformer coupled plasma) 장치와 구별되는 특징은 그림 1에서 보인 바와 같이 coil이 감긴 강자성체 core를 하나의 모듈로 구성하고 이들이 병렬 배치되어 있다는 점이다. 장치에 강자성체 코어를 도입함에 따라 시스템은 본래 플라즈마의 본성인 비선형의 정도가 더욱 심해졌으며 장치의 동작 및 특성에 대한 분석 작업이 더욱 어려운 상황이다. 이러한 원인으로 인해 기존의 TCP 장치들 상황 하에서 개발 된 이론들에 대한 직접적인 적용이 매우 어려운 상황이기 때문에, 플라즈마의 발생과정에 관련된 독자적인 전자가열 이론의 정립이 필요하고 이에 따른 여러 가지 물리, 화학적 양들에 대한 계산이 요구된다.

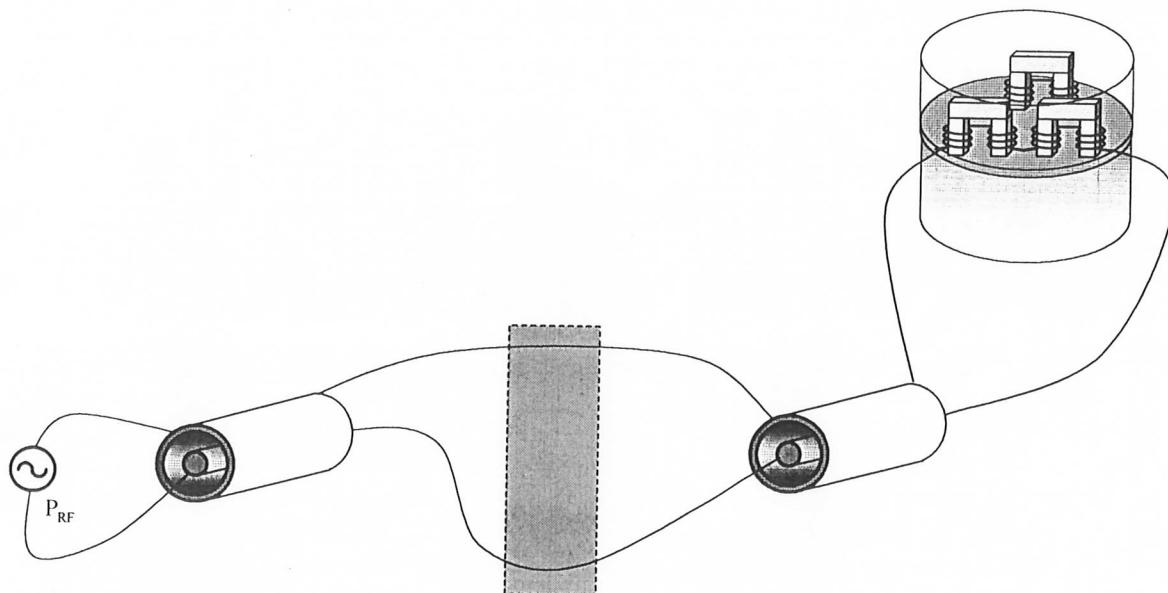


그림 1 IPS Nano Etch 3000 장치의 개략도

▶ 플라즈마 모델링 & 시뮬레이션의 필요성:

플라즈마 방전과정에 대한 모델링 및 시뮬레이션은 플라즈마원 설계 변수 도출 및 동작 조건 산출 등에 필수적으로 필요한 과정으로 해외의 CFDRC같은 회사에서 이미 상용화 program이 완성되어 고가에 판매되고 있다. 그러나 이러한 상용 simulator는 응용플라즈마 simulation 연구의 최첨단 기술을 도입했다고 할 수 없으며, 단지 몇 팀의 연구성과를 응용한 것에 지나지 않은 핵심 프로그램을 화려한 GUI (graphic user interface)로 포장한 것으로 지속적으로 발전하고 있는 플라즈마 물리학 및 simulation기술을 고려할 때, 단 시간내에 개략적인 장비특성을 분석해야 하는 상황이 아니라면 그 신뢰성면에서 높은 가격에 비해 부족하다고 할 수 있다. 특히 IPS 장치와 같이 독특한 특성을 갖는 플라즈마원에 대해서는 모델링 & 시뮬레이션이 더욱 필요한 상황이다.

독특한 구조의 MICP(multi-pole inductively coupled plasma) source인 IPS 장비에 대해서 우

< 서식 I - 3 >

선적으로 요구되는 simulator는 source에 관련된 “MICP source의 자기장 해석” 과 process chamber에 관련 된 “Chamber 구조에 따른 Gas Flow Dynamics 해석” 일 것이다. 이들은 고유의 역할을 할 뿐 아니라 향후 plasma transport module 및 etch profile simulator와 결합하여 장비의 full simulator를 구성하는 주요 module이 될 것이다.

아울러, 모델링 및 시뮬레이션로부터 기대되는 일반적인 효과를 정리하면 다음과 같다.

1. 플라즈마 발생을 비롯한 장치의 물리, 전기, 화학적 이해
2. 플라즈마원의 설계 변수 도출
3. 플라즈마원 성능개선 도구
4. 시행 착오적 반복 실험에 따른 비용 및 시간 절약
5. 장비의 초기 구동 조건 제시
6. 장비의 최적 구동 조건 제시
7. 장비의 신뢰성을 보조하는 marketing 도구로 활용

Modeling & Simulation의 역할

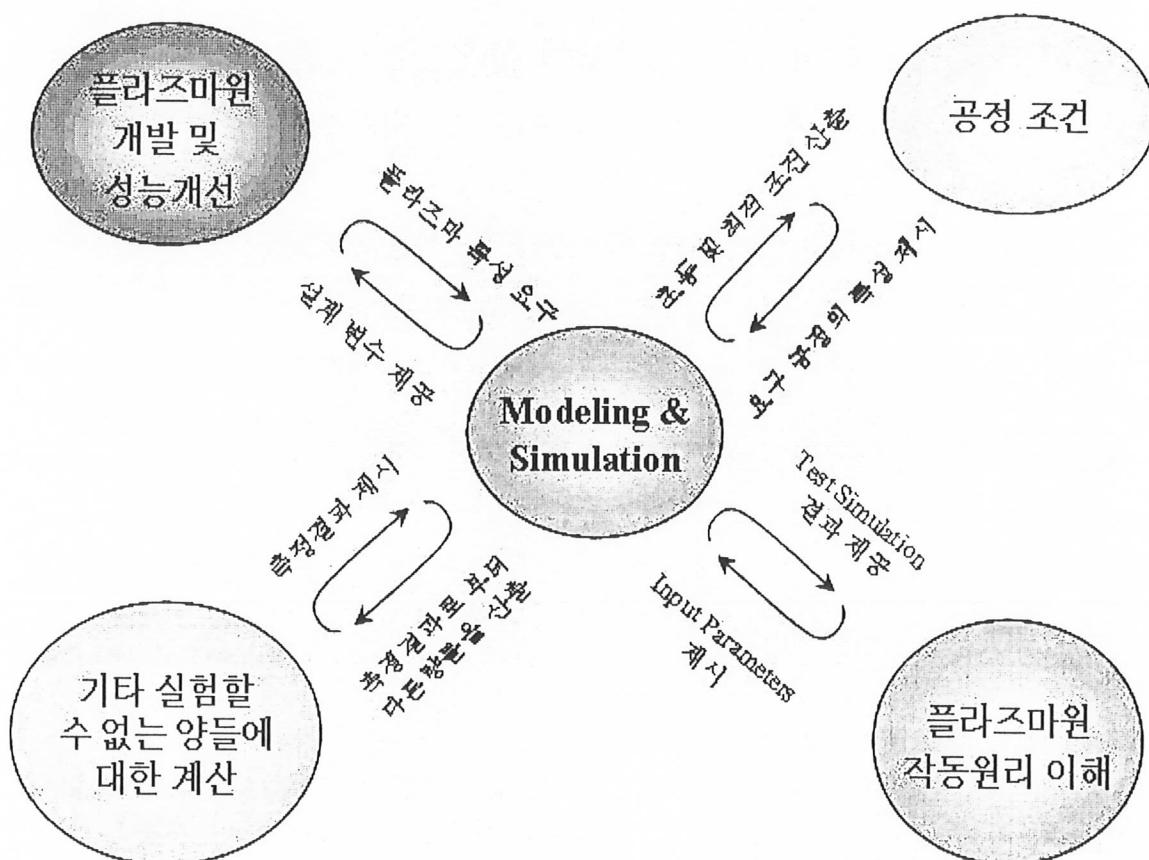


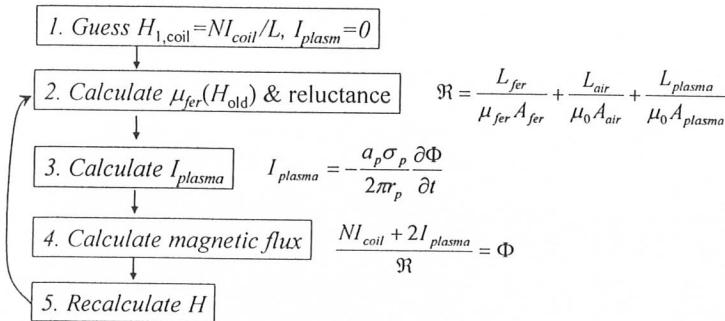
그림 2 Modeling & simulation의 역할

< 서식 I - 3 >

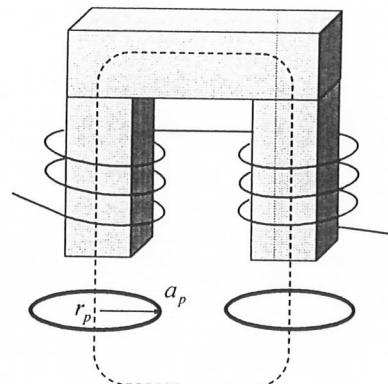
2. 연구개발 목표 및 내용

► MICP source의 자기장 해석 : 자장 계산은 Magnetic circuit model을 이용하는 근사 방법과 직접적인 계산 방법의 두 가지 방법에 의해 수행될 것이다.

1. Magnetic Circuit Model에 의한 자장 계산 : 그림 2에 보인 바와 같이 플라즈마 표면에서의 Magnetic diffusion을 고려한 magnetic circuit model을 통해 harmonic steady-state solution을 iteration에 의해 계산한다.



$$\begin{aligned}
 H_{new,fer} &= \frac{\Phi}{\mu_{fer} A_{fer}} = \frac{NI + 2I_{plasma}}{L_{fer} + L_{air} \frac{\mu_{fer}(H_{old}) A_{fer}}{\mu_0 A_{air}} + L_{plasma} \frac{A_{fer}}{A_{plasma}}} \\
 H_{new,air} &= \frac{\Phi}{\mu_0 A_{air}} = \frac{NI + 2I_{plasma}}{L_{air} + L_{fer} \frac{\mu_0 A_{air}}{\mu_{fer}(H_{old}) A_{fer}} + L_{plasma} \frac{A_{air}}{A_{plasma}}} \\
 H_{new,plasma} &= \frac{\Phi}{\mu_0 A_{plasma}} = \frac{NI + 2I_{plasma}}{L_{plasma} + L_{fer} \frac{\mu_0 A_{plasma}}{\mu_{fer}(H_{old}) A_{fer}} + L_{air} \frac{A_{plasma}}{A_{air}}}
 \end{aligned}$$

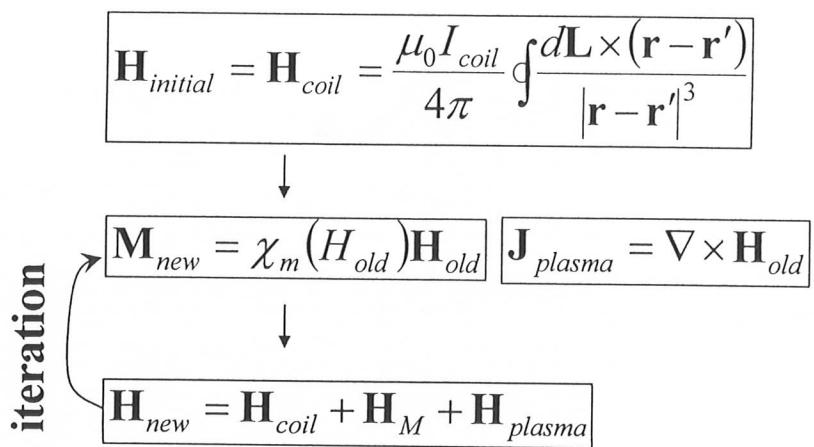


○ 때, 플라즈마 내부의 field profile은 magnetic diffusion theory에 의해 결정된다.

$$\begin{cases} \nabla^2 \mathbf{H} - \sigma \mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = 0 \\ \nabla^2 \mathbf{J}_p - \sigma \mu \frac{\partial \mathbf{J}_p}{\partial t} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mathbf{H}(\mathbf{r}) = \mathbf{H}_s(r, \theta) e^{-z/\delta_m} \\ \mathbf{J}_p(\mathbf{r}) = \mathbf{J}_{p,s}(r, \theta) e^{-z/\delta_m} \end{cases}$$

< 서식 I - 3 >

2. Quasi-static assumption에 의한
직접적인 자장 계산 : 그림 3에
보인 바와 자장은 초기에 coil의
전류에 의한 자장으로부터 강자
성체의 Magnetization과 플라즈
마 전류가 결정되고 이들에 의
해 자장값을 다시 계산하여
harmonic steady-state에 이를 때
까지 iteration하는 방법에 의해
계산된다.



$$\mathbf{H}_M = \frac{1}{4\pi} \nabla \nabla \cdot \int \frac{\mathbf{M}(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} d\tau$$

$$\mathbf{H}_{plasma} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{\mathbf{J}_{plasma} \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3} d\tau$$

그림 4 Quasi-static assumption에 의한 직접적인 자장 계산

이때 플라즈마 내의 전기장 값은
에 의해 결정되고 플라즈마가 흡수 $\mathbf{E} = \frac{\mathbf{J}}{\sigma_p}$ 하는 파워 분포는
식에 의해 결정된다.

$$P_{abs}(r, \phi, z) = \left\langle \int \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} d\nu \right\rangle_{average} = \frac{\int_{t'}^{t+\tau} \int \frac{|\mathbf{J}_p|^2}{\sigma_p} d\nu dt}{\tau}$$

이러한 자장계산 프로그램의 input 및 output parameter들을 표로 정리하면 표 1과 같다.

Input parameters	Output parameters
Ferrite core의 배열 방법	
Ferrite core의 Diameter(shape)	
Ferrite core의 단면적	자기장 분포
Ferrite core의 coil turn 수	전기장 분포
전류 접속 방법(직렬, 병렬)	플라즈마 파워 흡수 분포
Input power의 frequency	
Ferrite의 hyteresis 특성	
Plasma density, pressure	

표 1 자기장 계산 프로그램의 입력 및 출력 변수들

< 서식 I - 3 >

▶ Chamber 구조에 따른 Gas Flow Dynamics 해석 : Chamber 형상, gas feeding 위치, pump의 위치등에 따른 gas flow dynamics의 해석은 반응로 설계의 기초자료를 제공하는 중요한 설계작업이며, oxide-etcher의 경우 flourine의 과다 생성으로 인한 선택비 문제와 관련 된 중성종의 resident time 효과 등을 고려할 수 있는 기본적인 도구를 제공할 것이다. Gas flow 해석 프로그램은 그림 5와 같은 유체방정식에 대한 정상상태의 수치적 해를 구하는 것으로 이루어진다. 본 연구에서는 FDM(finite difference method)와 FVM(finite volume method)를 기반으로 프로그램이 제작될 것이다.

$$\frac{\partial n_N}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma_N = R_N$$

$$\frac{\partial \Gamma_N}{\partial t} + \nabla \cdot (\Gamma_N \mathbf{u}_N) = -\frac{\nabla(n_N T_N)}{m_N} - \frac{\nabla \cdot \tilde{\pi}}{m_N} + \frac{\mathbf{M}_N}{m_N}$$

$$\frac{\partial(n_N C_v T_N)}{\partial t} + \nabla \cdot (n_N C_v T_N \mathbf{u}_N) = -\nabla \cdot \mathbf{q}_N - n_N T_N (\nabla \cdot \mathbf{u}_N) + \sum_N E_N$$

$\tilde{\pi}$: neutral viscous stress tensor

$$\mathbf{q}_N = -\frac{5}{2} \frac{n_N T_N}{m_N v_{iN}} \nabla T_N$$

$$\mathbf{M}_N = \sum_i \frac{m_N m_i}{m_N + m_i} n_N \mathbf{u}_N v_{iN}^m$$

$$E_N = \frac{1}{2} m_N u_N^2 R_N - \mathbf{M}_N \cdot \mathbf{u}_N$$

$$+ \sum_i n_i n_N \sigma_{iN}^m \left(\frac{2m_N m_i}{(m_N + m_i)^2} \right) \times \left\{ \frac{m_i}{2} \left(\frac{\pi^{2/3}}{2^{2/3}} \frac{8T_i}{\pi m_i} + u_i^2 \right)^{3/2} - \frac{3}{2} T_N \left(\frac{8T_i}{\pi m_i} + u_i^2 \right)^{1/2} \right\}$$

그림 5 Neutral transport model식들

완성된 Gas flow code의 입력 및 출력변수를 정리하면 표 2와 같다.

Input parameters	Output parameters
Chamber의 기하학적 형상 및 크기 Gas 주입구의 위치 및 주입량 Pump의 위치 및 pumping speed	중성종 밀도, 온도 및 압력 중성종의 유체 속도 및 Flux 중성종의 평균 resident time

표 2 Gas flow 프로그램의 입력 및 출력 변수들

3. 연구개발 방법

(주) IPS에서 필요로 하는 것은 단순히 완성 된 프로그램만이 아니고 본 연구책임자의 장치 개발 및 개선 작업의 활발한 참여일 것이다. 이러한 유기적인 feedback관계는 (주) IPS 관련자들의 충북대학교 방문에서 이루어지는 한달에 한번의 주기적인 meeting을 통해 연구개발이 종료될 때까지 유지될 것이다. 또한 본 연구의 결과물은 그 신뢰성 검증을 위해 관련 학회와 학술지에 논문으로 발표 될 것이다.

4. 향후 계획

본 연구에서 완성 된 프로그램들은 주어진 조건에서 각각의 의미있는 결과들을 산출하여 장비개발 및 성능개선에 도움을 줄 것이며, 앞에서 상술한 바와 같이 그림 6과 같은 전체 plasma simulator 의 주요 module이다. 본 1차년도 연구의 결과 완성된 두 module에 하전입자 수송 module 및 등가회로 모델이 첨가되면 self-consistent한 plasma simulator로 완성될 것이다.

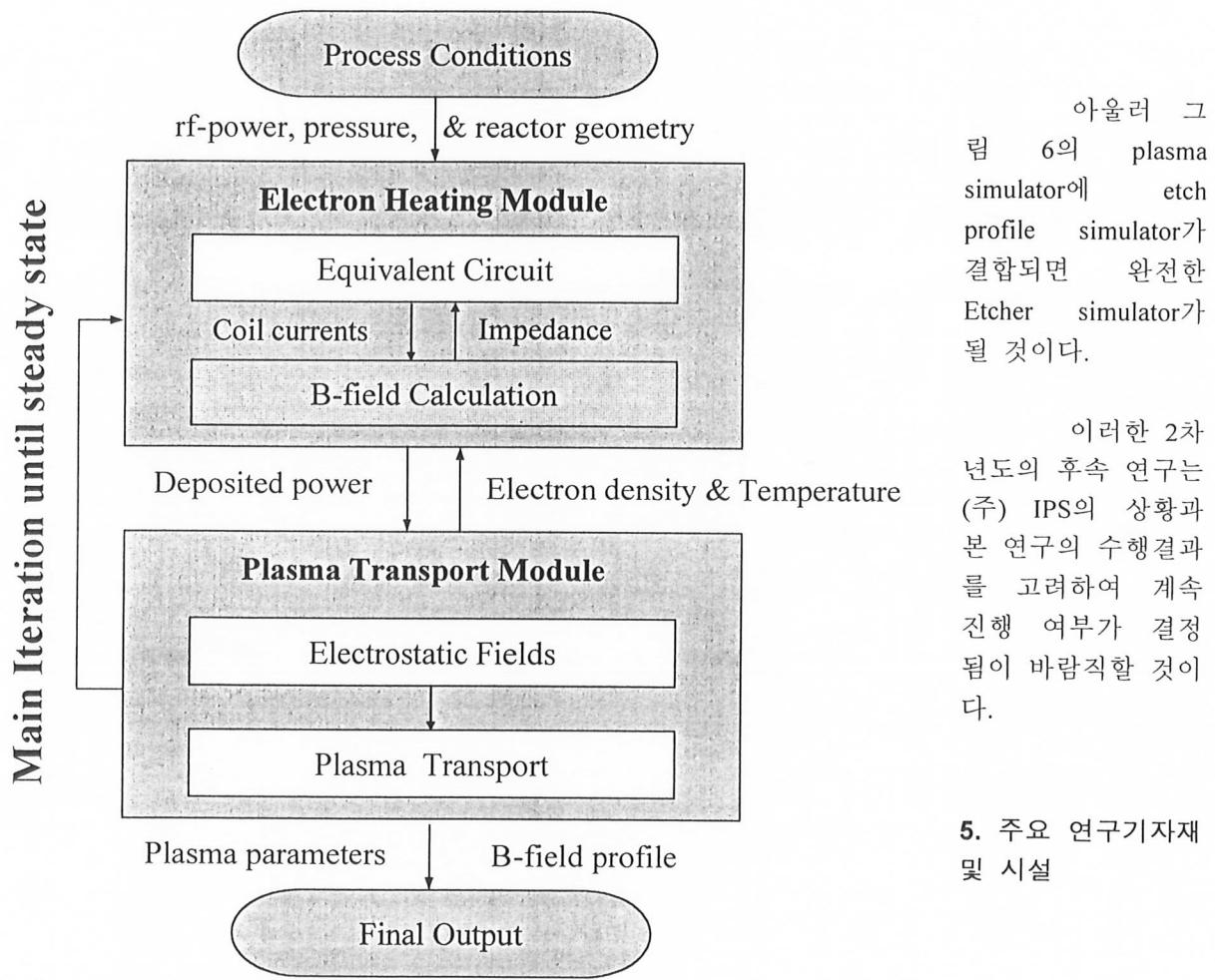


그림 6 Plasma Simulator의 흐름도

5. 주요 연구기자재 및 시설

6. 연구추진계획

연구기자재 및 연구시설명	규격	수량	용도	보유현황	확보 및 활용방안	비고
PC Workstation	PantiumIII Dual Xeon 700 MHz	5	자료 정리 및 보관 계산용	충북대학교		
Workstation	Dual Xeon 500 MHz	1	계산용	충북대학교		
Printer	HP 2100TN	2	하드카피용	충북대학교		
복사기	Cannon	1	자료복사용	충북대학교 충북대학교	보유	

연 구 내 용	추 진 일 정											
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
모델 정립 FDM formula 정리 Simulator 완성 여러 가지 조건에 따른 simulation 보고서 작성												
연 구 진 도 (%)	50 %						50 %					

7. 연구책임자 및 연구원

가. 연구책임자

1) 인적사항

성명	국문	윤 남식 (한문) 尹 南 植	직위(급)	조교수
	영문	Nam-Sik Yoon		
주소	자택	충북 청주시 개신동 개신주공2차아파트 211동 1301호 (전화 : 043-232-8804)		
	직장	충북대학교 전기전자공학부 (전화 : 043-261-2420 FAX : 043-263-2420)		
	e-mail	nsyoon@vod..chungbuk.ac.kr		
주민등록번호	660310-1057611 (만 36 세)			

2) 학력

연도(부터~까지)	학교	전공	학위
1985 - 1989	서강 대학교	물리학	학사
1990 - 1992	한국과학기술원	물리학	석사
1992 - 1996	한국과학기술원	물리학	박사
최종학위논문제목	Theoretical Investigations for Electron Heating and Plasma Transport Phenomena in ECR- and TCP-Discharge		

3) 경력

연도(부터~까지)	기관	직위(직명)	비고
1992 - 1996	한국과학기술원	한국과학기술원 자연과학연구소 위촉연구원	
1996 - 1997	기초과학지원연구소	박사후 연수원	
1997 - 1999. 8. 31	기초과학지원연구소	선임 연구원	
1999. 9. 1. - 현재	충북대학교 전기전자공학부	조교수	

< 서식 I - 3 >

나. 연구원(연구책임자 포함)

분야	성명	소속기관 및 부서	직위	전공 및 학위				참여율 (%)
				학위	년도	전공	학위	
Modeling & Simulation	윤남식	충북대학교 전기전자및컴퓨터 공학부	조교수	박사	1996	물리학	KAIST	20
연구 보조	김영주	충북대학교 물리학과	학부생	재학		물리학	충북대학교	20

8. 소요예산

(단위: 만원)

구분 내용	금액	산출근거	비고
연구활동비	250		
연구보조원인건비	120	10/월×12개월=120	
여비	10	청주-오산	
수용비	100	자료 복사 및 제본	
재료비	2,460	* 별표	
회의비	60	5/월×12개월=60	
계	3,000		

*재료비 산정 별표 (단위: 원)

품명	규격	단위	수량	단가	금액(원)	비고
OHP필름 CD-R 복사기 토너	HP C3832A 650MB	box box ea	3 2 2	40,000 40,000 100,000	120,000 80,000 200,000	
잉크	컬러-RED (HP C4841) 컬러-BLUE (HP C4841) 컬러-YELLOW (HP C4841)	SET	2	200,000	400,000	
잉크	흑백 (HP C4844A)	개	4	50,000	200,000	
프린터 용지 Itanium chip Xeon 700 MHz		box ea ea	20 5 4	30,000 3,000,000 2,000,000	600,000 15,000,000 8,000,000	
계					24,600,000	