

원전 제어 계통의 연구 개발

- 기술 자립 계획 및 전망 -

하 달 규

삼창기업(주) 중앙연구소 소장



전력 분야의 기술 혁신은 2000년대의 선진 사회를 이룩하는 데 있어 중요한 위치를 차지한다

발전소 제어 계통 연구 개발 배경

전력 계통의 자동 제어 분야는 그동안 대부분 외국의 기술에 의존해왔다고 해도 과언이 아닐 것이다.

이러한 기술의 의존으로 인해 비용적 측면에서 고가화되고, 기존에 도입된 장비도 오랜 시간 동안의 설치와 운용으로 인해 설비 모델이 구형화 또는 노후화되어 유지 보수의 어려움 때문에 정비 보수가 차지하는 비중이 매우 높은 게 현실이다.

특히 국내 원전에 설치 운용중인 대부분의 계측 제어 계통은 60년대 및 70년대 기술로 설계·제작되어, 기기의 노후화로 인한 발전소의 불시 정지와 유지 보수시 부품 확보에 어려움이 발생되고 있으며, 추후 기능 확장에 따른 확장 능력(flexibility)을 만족하기 어려운 실정이다.

선진국에서는 아날로그 계측 제어 계통의 노후화 및 신규 건설되는 발전소에 디지털 계측 제어 계통을 적용하기 위하여 디지털 제어 연구를 활발히 수행, 적용 단계에 있다.

최근 국내에서도 신규 발전소의 계측 제어 계통 및 노후화된 원전 계측 제어 계통의 설비 교체에 디지털 제어 기술을 적용하기 위한 과제들이 추진되고 있으나, 디지털 제어 기술 적용시 마이크로 프로세서 및 소프트웨어에서 예상치 못한 공통 모드 고장(CMF)과 기타 결함에 대한 대처 능력 및 원전의 안정성·신뢰성 확보 문제로 선진국의 디지털화 추세에 따르지 못하고 있다.

발전 설비의 핵심 부분인 계측 제어 계통 설비는 전량 외국 제품으로 선진국에 기술이 종속되어 높은 가격과 기술 이전 기피 등의 어려움이 있다.

삼창기업(주)는 PCS(Plant Control System) 국산화 및 원전 관련 설비의 점진적인 국산화로 시장 개발

2000년대를 향한 국가 발전의 장기 목표는 선진 사회의 실현이며, 이러한 선진 사회는 기술 수준이 높은 사회와 같은 뜻으로 혼용될 수 있다.

산업 구조 또한 기계 기술과 고도의 전자 기술이 혼합된 메카트로닉스(Mechatronics)산업, 컴퓨터나 통신 기술이 일체화된 정보 산업이 기간 산업으로 등장하고 있으며, 이를 뒷받침하는 에너지 관련 기술 또한 큰 발전이 기대된다.

특히 에너지 분야의 근간을 이루는

(표 1) 국내외 관련 기술 현황

구 분	현 황		향 후 전 망
	국 내	국 외	
관련 제품	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 수준 - 원전 제어 관련 시스템은 전무한 상태이며, 유사 제품은 개발되어 시멘트·화학·수처리 등 산업용으로 사용 ○ 공급 회사 - 안전 관련 등급(Q Class)에 적용하기 위해 기기 검·인증, 신뢰성, 안전성 및 품질 보증 체계가 확립된 제품을 공급하는 회사는 없음 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 수준 - 기술 수준은 마이크로 프로세서 방식을 채택하여 기술 안정화 단계에 있음(영광 3·4, 울진 3·4) ○ 공급 회사 - Forney Corp. (미국) - Eaton Corp. (미국) - Westinghouse (미국) - ABB-CE (미국) 	<ul style="list-style-type: none"> 삼창기업(주)에서 제안한 PCS의 디지털 제어 방식은 미 Forney사의 기술을 제공받아 선진국 수준의 신뢰성 있는 제품을 개발할 예정
기술 인증	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일반 산업용 제어 기능에 대한 알고리즘, S/W 개발 및 사용 ○ 신뢰성·안전성에 대한 S/W·H/W 분석 경험 없음 ○ 기기 검·인증 규격 및 기술 경험이 없음 	<ul style="list-style-type: none"> ○ PCS뿐만 아니라 일반 산업용 제어 알고리즘, S/W·H/W 개발이 완료됨 ○ 적용 코드 및 표준 규격이 개발 사용됨 ○ 신뢰성·안전성에 분석 방법(V&V)이 개발되어 사용중에 있음 ○ 시스템 검·인증 수행 	<ul style="list-style-type: none"> ○ PCS 알고리즘, S/W·H/W 확립 ○ V&V 방식 개발 ○ 기기 검·인증 수행

에 따른 경쟁 입찰 단가 하락 유도, 예비 카드의 확보와 유지 보수 체계 확립, 기기 검·인증 코드 표준화, 확인 및 검증(V&V, Verification & Validation) 적용으로 국내 업체의 신뢰성 확보, 차세대 제어 시스템(DCS) 개발 기술 확보 및 원전 관련 타설비 국산화 동기 부여로 무역 수지 개선과 발전소 이용률 증대에 기여할 것이다.

국내외 관련 기술

1. 국 내

국내에서 제작되는 원자력 제어 설비 관련 제품은 전무한 상태이며, 기간 산업용 기기 기술의 제어 기능에 대한 알고리즘 및 소프트웨어는 기술

개발 향상으로 화학 플랜트, 수처리 설비, 유관 산업 등에 사용되고 있으나, 대형 시스템에 대한 기기 검·인증, 소프트웨어 및 하드웨어의 신뢰성 확보를 위해서는 많은 기술 개발이 요구된다.

2. 국 외

국의 제작사의 기술 수준은 계전기 방식에서 반도체 회로 방식으로 발전하였으며, 최근에는 마이크로 프로세서 방식을 이용한 제어 시스템을 사용하고 있다.

플랜트 콘트롤 시스템에 대한 기술은 알고리즘, 소프트웨어 및 하드웨어는 물론, V&V, 검·인증 등 신뢰성 및 안전성이 입증된 계측 제어 장비를 사용하고 있다.

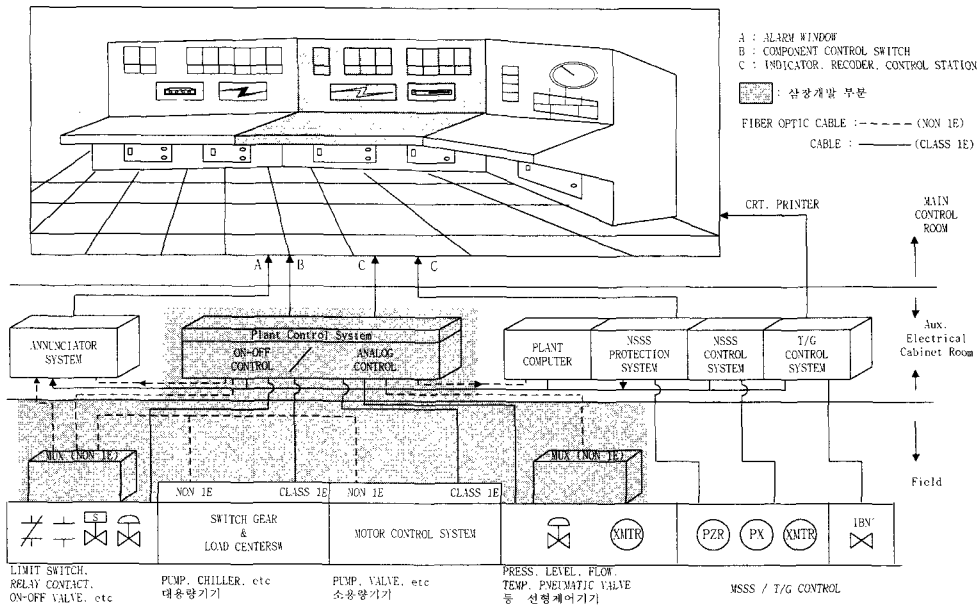
연구 개발 계획

1. 연구 개발 목표 및 내용

가. 연구 개발 목표

원전 I & C 시스템 구성은 크게 1차측의 주설비(NIS, CEDMCS, NSSS, ESFAS 등) 및 보조 설비(Plant Control System, Annunciator System, Plant Computer System, Plant Monitoring System 등)와 2차측의 주설비(TBN Protection & Control System)로 나눌 수 있다.

PCS의 구성은 Field의 Limit Switch, Relay Contact 등을 제어하는 on-off 제어와 압력, 레벨, 유량 등을 제어하는 아날로그 제어로 구분되며, OCM(Operator Control



(그림 1) 원전 I&C 계통 Block Diagram

Module)을 통한 운전원의 명령과 제어 대상 기기의 상태, 조건 신호를 받아 Micro-Processor를 이용하여 제어 논리를 신속히 처리하고, 제어 대상 기기에 신호 전달, 피드백 신호에 의한 감시, 경보 발령, 상태등 점등과 소내 전산기에 관련 신호를 전달하는 것을 포함한다.

PCS의 하드웨어 구성은 수많은 I/O 모듈과 컨트롤 모듈, Cabinet, 주변 기기로 구성되어 있다.

삼창기업(주)는 Q Class Logic Cabinet 2식, T Class Logic Cabinet 2식, Multiplexing Cabinet 2식, Master Cabinet 2식 (각 Cabinet은 제어 모듈 포함)과 주변 기기를 국산화 할 것이며, 본 시스템에 대한 소프트웨어, 하드웨어 및 알

고리즘 개발로 당사 고유 표준 모델을 제시할 것이다.

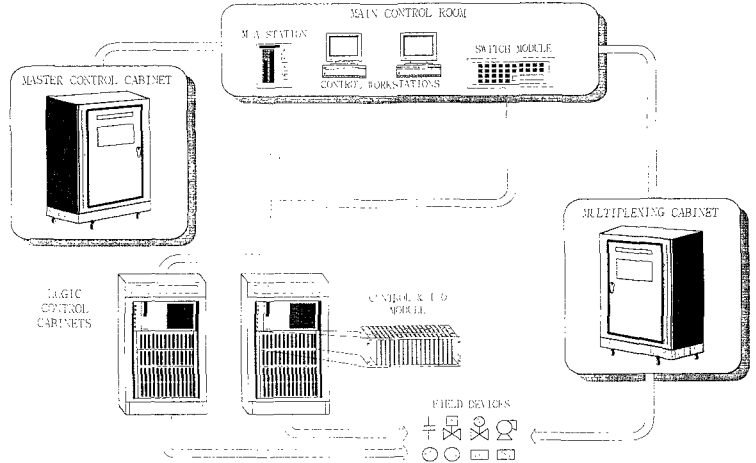
본 제품은 Loop 확장, I/O Point 확장 및 각종 Cabinet만 증가하면 발전소 2개 호기 의 Plant Control System을 구현할 수 있도록 개발할 것이다.

나. 연구 개발 내용

- ① PCS Algorithm 1식
 - FID Digital Algorithm
 - FID Analog Algorithm
- ② 소프트웨어
 - O/S Program 1식
 - Window & Menu Program
 - System Function Program
 - Equations/Ladder Program
 - Diagnostics Program
 - Application Program 1식

- Communication Program 1식
- Database Program 1식
- HR CRT 운용 Program 1식
- ③ 하드웨어
 - Control Module (CPU-1,2,3,4) 4종
 - Special Function Cards (SFI/O-1~6) 6종
 - Analog I/O Module (AI/O-1~5) 5종
 - Digital I/O Module (DI/O-1~5) 5종
 - RCC-F.O / RC 2종
 - Remote Multiplexing Cards (S1~8) 8종
 - ICL Module 1종
 - Cable Interface Cards
 - Operator Control Module 6종

- LAN Module 1종
- Voltage Sensing Cards (VS-01,02) 2종
- GFD Module 1종
- Dual Ported Memory Card (DPM-1,2)
- Power Supply 2종
- HRCRT Station 1Set
- Mother Board (MB-1~5) 5종
- ④ Cabinet 설계 및 개발
- ⑤ 시뮬레이터 개발
- ⑥ 품질 보증 Documentation 개발



Plant Control System Overview

2. 추진 전략 및 방법

원자력발전소 제어 계통의 제어 시스템(Plant Control System) 개발은 울진 5·6호기의 현장 조건과 미 Forney사 AFS-2000 시스템을 토대로 알고리즘, 소프트웨어 및 하드웨어 개발을 진행할 것이며 신뢰성 확보를 위한 방안 연구도 함께 진행할 것이다.

가. 기술 정보 수집

- ① 기존 제품 분석 : Forney사 AFS-2000시스템, Eaton사 PLAS32PCS 시스템
- ② 발전소 환경 조사 : 영광 3·4호기, 울진 3·4호기
- ③ 연구원 기술 연수 : 알고리즘/소프트웨어/하드웨어/Q.A 분야

나. 제작 전략

- ① 제1단계 실험용 시제품 제작
PCS 실험용 시제품 제작은 대상

발전소(울진 5·6호기) 운영 체계에 만족하는 알고리즘, 소프트웨어, 하드웨어를 개발하며, 소프트웨어 설계는 운용 프로그램과 응용 프로그램으로 나누어 확장·변경이 용이하도록 개발한다.

하드웨어는 알고리즘과 소프트웨어의 사양을 충족할 수 있도록 설계하여야 하며, 사양 및 부품 선정은 미 Forney사의 Component Engineering의 신뢰성 검토를 협의하여 선택할 것이며, 기능별 테스트 완료를 1단계 실험용 시제품 제작 단계로 한다.

② 제2단계 응용 시제품 제작

응용 시제품 제작은 실험용 시제품 제작을 토대로 전기적·기계적 기술 설계를 위한 모든 기술 자료를 수집·평가하여 기술적인 결과를 미 Forney사와 검토 후 제작하며, 시뮬

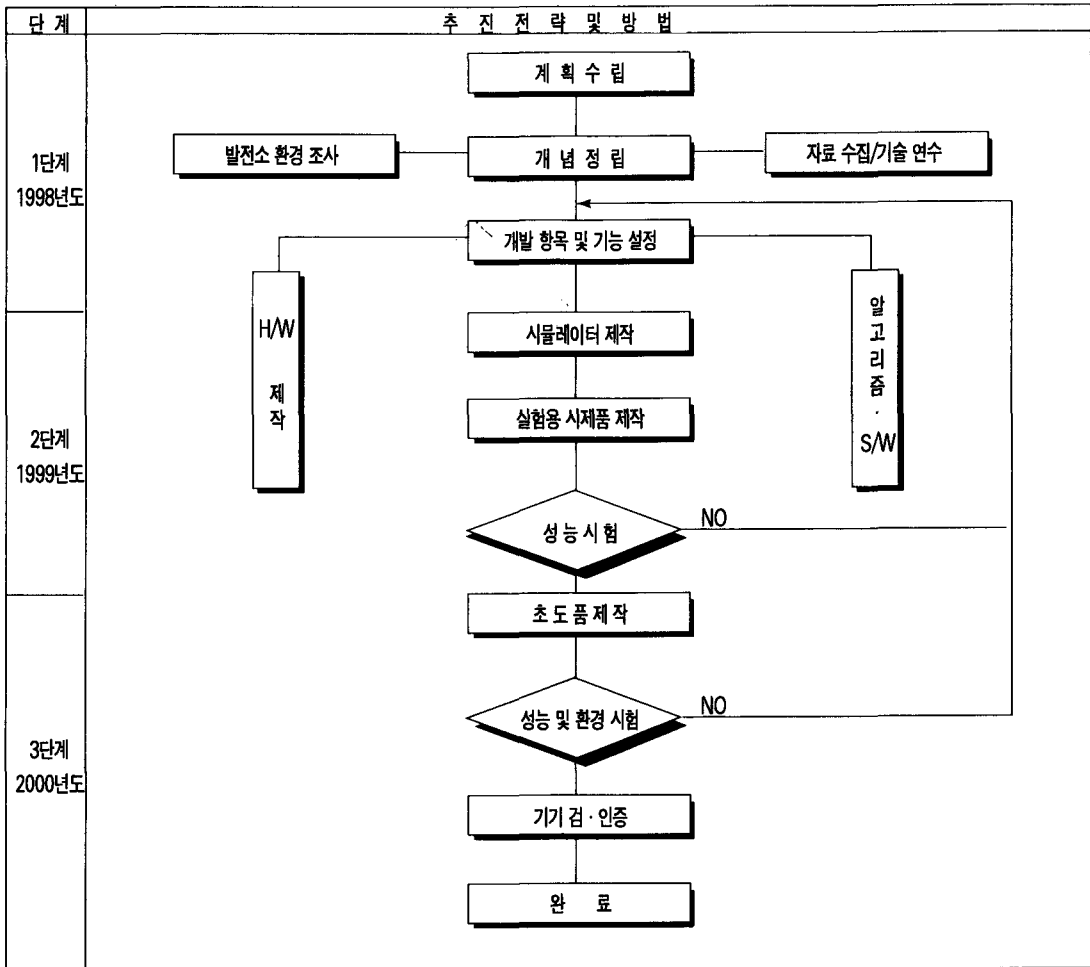
레이터를 이용한 기능 테스트를 통해 시스템을 보완하여 사양을 결정하는 단계이다.

③ 제3단계 인증 시험 및 현장 적용 초도품 제작

제작의 마지막 단계인 3단계는 인증 및 현장 적용 시험용으로 제작하며, 본 제작 기준에 의거 실용화 할 수 있는 제품의 사양이 결정된다.

다. 성능 시험 전략

① 시뮬레이터를 이용하여 발전소 환경과 일치하게 조건을 만들어 시험하는 방안으로 아날로그 신호인 유량, 압력, 레벨, RTD (PT100, PT200), T/C 및 0~2k Ω 의 저항 신호와 디지털 신호인 Limit Switch, Relay Contact, OCM (Operator Control Module)에 의한 신호를 소프트웨어에서 종합 처리하여 개발된 시스템의



* 개발 기간 : 40개월

(그림 2) 추진 전략 flow

입력 신호로 제공하며, 아날로그 신호 제어 상태 및 디지털 신호의 논리 출력 상태를 모니터링하고 Master Cabinet과 Q,T Class의 Logic Cabinet과의 커뮤니케이션 등을 점검할 것이다

② 현장 적용 시험

검·인증 시험에 합격한 후 제작한

시스템은 필요시 현장 발전소에 병렬 접속하여 성능 시험을 수행할 예정이다.

라. 검·인증 방안 수립 및 검·인증 시험

기기 검·인증 방안은 시스템의 전기적 성능 요건, 환경 요건, 지진 요건 및 물리적·구조적 요건을 파악하

여 PCS에 대한 장비 인증 규격을 수립하는 것이 기초적인 수립 단계이고 인증 계획 수립, 시험 절차서 작성, 시험 수행 순으로 검·인증을 획득하는 것이 최종 목표이다.

삼창기업(주)는 품질 보증부와 기술부 합동으로 각 요건에 대한 장비 인증 규격을 수립할 것이며, 원전 적

용 코드 및 관련 문서 기준을 충분히 검토할 것이다.

마. V&V

PCS 국산화 개발의 V&V는 제1 단계 Proposal 작성을 시작으로 최종 테스트까지 5 단계로 실시되며 각 단계의 V&V 방법은 삼창기업(주)가 개발한 V&V 절차에 의해 수행할 것이다.

V&V는 본 시스템 개발의 기본적인 Documentation이 되며 시스템 신뢰성 확보에 중요한 자료가 될 것이다.

3. 추진 전략 flow<그림 2>

기술 자립 계획

1. 기술 자립 현황

<그림 3>

2. 기술 자립 목표 및 범위

<그림 4>

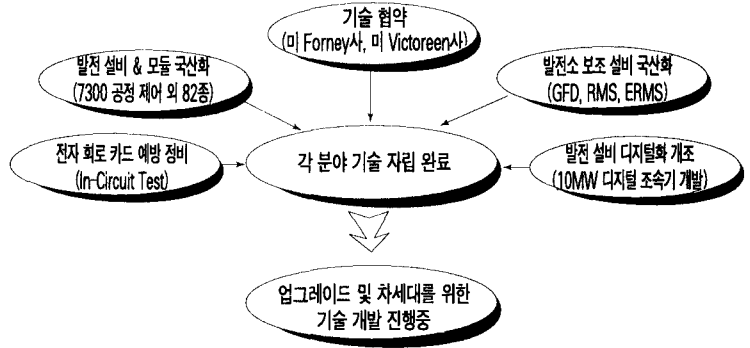
3. 기술 자립 추진 방안

<그림 5>

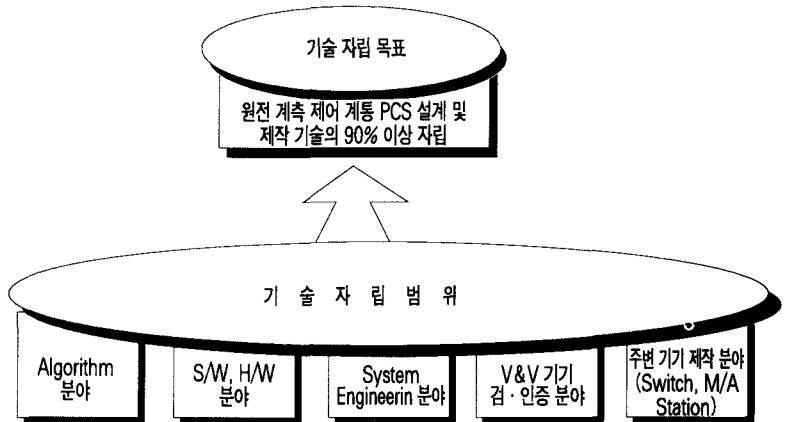
기대 효과

1. 기술적인 측면

가. 발전소 핵심 분야인 플랜트 컨트롤 시스템 국산화 개발은 on-off 및 아날로그의 디지털 제어 설계에 따른 알고리즘, 소프트웨어 및 하드웨어



<그림 3> 기술 자립 현황



<그림 4> 기술 자립 목표 및 범위

기술 확보와 신속한 정보 전송 및 처리가 가능한 프로토콜을 확립할 수 있으며, 차세대 제어 시스템 개발의 기술 기반을 구축할 수 있다.

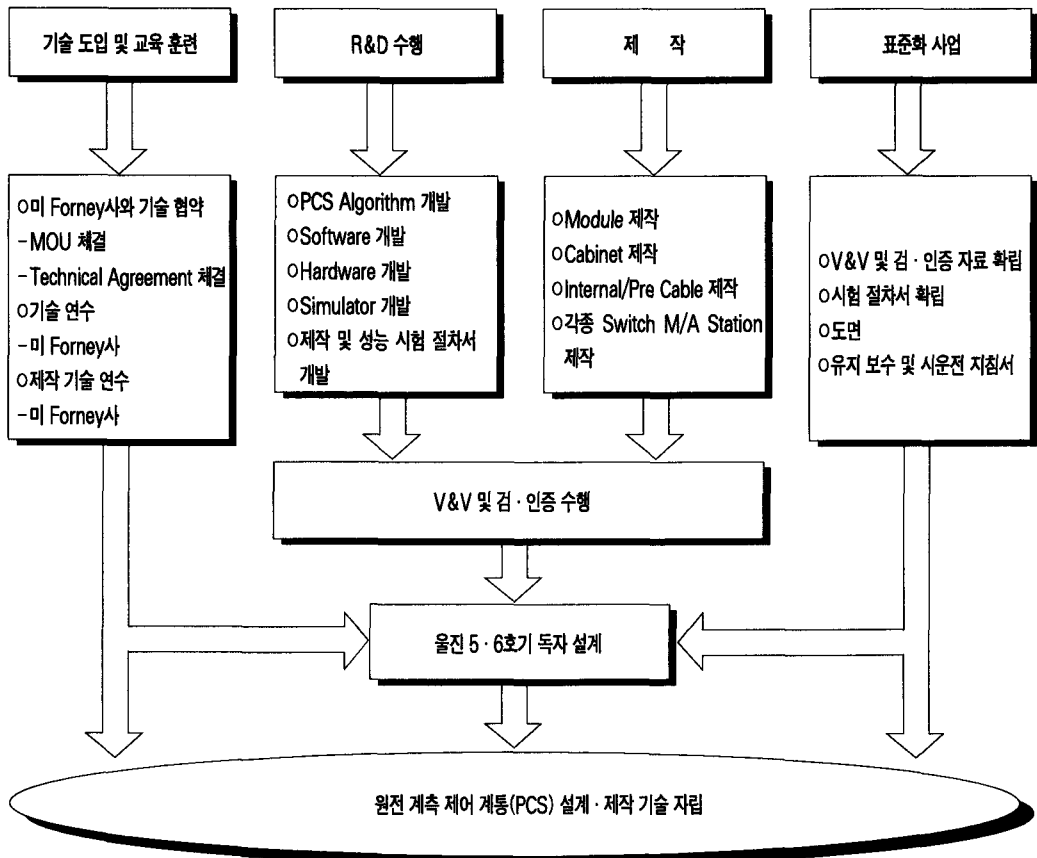
나. 21세기 산업 발전의 견인차 역할을 수행하면서 타산업 분야에 파급 효과가 지대할 것으로 보며, 향후 기술 경쟁력은 디지털+컴퓨터가 복합된 획기적인 제어 기술로서 기술 축적의 기반 구축에 이바지할 것으로

판단된다.

2. 경제적인 측면

가. 시장 개방에 따른 국가 경쟁력 강화 및 무역 수지 개선의 효과를 기대할 수 있으며 PCS 응용으로 타산업 설비(수처리·시멘트·화학 분야)에 적용할 수 있다.

나. 신규 발전소에 국내 개발 제품을 활용할 경우 발전소 호기당 100억



〈그림 5〉 기술 자립 추진 방안

원 이상의 수입 대체 효과를 기대할 수 있다.

결론

급속한 국제화·개방화 추세에서 기술의 우위는 무엇보다 중요한 요건이며, 특히 UR 여파에 이어 후속으로 이어지는 GR과 TR은 국가 생존을 좌우한다고 해도 과언이 아니다.

선진 외국의 경우 이에 대비하여 첨단 기술 개발 전략을 국가 목표로 세워 추진하고 있음에도 불구하고 우리나라는 아직도 TR에 대한 준비태세가 미흡한 것이 사실이다.

이 중에서도 가장 미흡한 분야가 전자·컴퓨터·소프트웨어·하드웨어가 결합된 제어 분야이며, 준비작업이 없을 경우 향후 이 분야는 엄청난 타격을 받아 산업 설비 첨단화·

자동화·고도화에 치명적인 영향을 미칠 것으로 보인다.

따라서 국내에 산재된 기술을 결집하여 가장 적은 투자로 고부가가치를 올릴 수 있는 제어 분야에 정부가 주도가 되어 국가 정책으로 추진한다면, 국내 산업 보호는 물론 대외 경쟁력 확보에도 크게 기여할 것으로 사료된다. ☞