

전력용 디지털 시스템 기술개발 동향

박경엽 한국전기연구원 신전력기기연구그룹장

이우영 한국전기연구원 신전력기기연구그룹 책임연구원

1. 머리말

디지털 기술의 접목은 기존의 아날로그 기술에 의한 접근방법과 비교하면 대상신호에 대한 수치적 처리 및 해석 기법의 도입으로 보다 정량화되고 다양한 기능화에 대한 유연성을 확보할 수 있게 된 것이라 볼 수 있다. 전자, 수치해석 및 신호해석 기술과 아울러 컴퓨터 관련기술의 급속한 발전은 신뢰성과 안전성을 무엇보다 우선으로 하는 전력관련 분야에서도 기존의 아날로그 관련기술을 대체할 수 있는 다양한 기능성을 가질 수 있는 디지털 기술의 기반화에 원동력을 제공하게 되었다.

이러한 디지털 기술화는 크게는 전력시스템의 운영시스템에서부터 작게는 단일 기기의 제어 및 상태감시 등에 이르기까지 다양한 분야를 대상으로 하고 있으며 기존 아날로그 기술로 가능했던 분야는 물론 디지털화됨으로써 가능해지는 새로운 기능들이 전력분야에 도입되어 전력공급의 신뢰성과 안정성 그리고 전력품질에 대한 보다 고급화된 단계로의 발전이 가능하게 된 것이다. 앞으로의 전력에너지 관리는 점차 경쟁적 속성을 가지는 시장원리에 노출되어질 것으로 예상되는 바 효율성 있는 전력공급체계와 구성기기의 지능화에 대한 기술개발의 관심은 더욱 높아질 것으로 보인다.

본고에서는 전력분야 중에서 최근 많은 관심을 받고 있는 개폐제어 차단기술과 변전소 자동화기술 그리고 전력기기의 진단기술을 대표적 예로 들어 전력용 디지털 시스템의 기술개발동향에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 개폐제어 차단기

전력계통에 사용되는 대표적 전력기기로는 변압기, 차단기 그리고 GIS(Gas Insulated Switchgear) 등을 들 수 있는데 이 중에서 현재 디지털 기술을 접목하여 새로운 개념의 기능 도입을 추진하고 있는 영역은 차단기 분야의 개폐제어기술이라 할 수 있다.

차단기란 일반적으로 전력계통에서의 사고전류를 차단하고 사고원인을 계통으로부터 분리시켜 사고확대를 방지하여 안정된 전원공급을 수행하거나 전력계통에 설치된 전력설비를 전력계통으로부터 연결 및 분리하기 위한 필수적 전력기기라 할 수 있다. 이러한 차단기는 정상상태의 개폐동작 혹은 사고발생 시 보호계통의 지령을 받게 되면 인가전압 혹은 전류의 위상을 기준으로 하여 임의의 시점에서 3상을 일괄적으로 개폐하는 동작을 수행하게 되는 것이 일반적이다. 이러한 차단기의 개폐동작은 설치된 환경에 따라 가혹한 개폐과도현상을 발생시키게 되고

나아가 주변기기들에 대한 심각한 스트레스와 함께 사고의 위험을 증대시키며 차단기 접점의 과도한 손상으로 전기적 수명을 단축시키기도 한다. 이와 같은 기존 차단기의 개폐 시 발생하는 문제들은 차단기 접점의 개폐시점과 관련이 있는 것으로, 3상의 접점들이 적절한 시점에서 개폐될 수 있도록 제어하게 되면 한층 완화된 결과를 얻을 수 있게 된다.

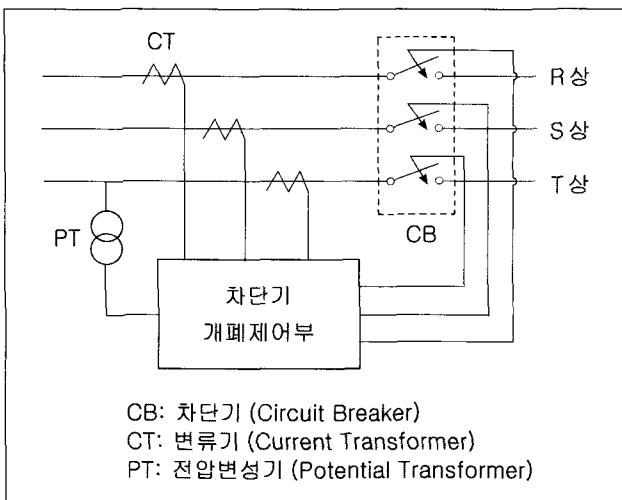
그림 1은 개폐제어 차단기의 구성을 간략하게 나타낸 것으로 전압변성기(PT)나 변류기(CT)로부터 계통의 전류나 전압신호를 받아 각 상에 적절한 시점에서 차단기(CB)의 개폐동작이 이루어지도록 제어한다. 개폐제어 차단기 기술의 적용분야는 콘덴서 뱅크의 투입, 분류 리액터의 개폐, 무부하 변압기 여자전류 투입, 송전선로 개폐 및 사고전류의 차단 등으로 다양한 목적을 대상으로 하고 있기 때문에 전력분야의 국제적 모임인 CIGRE에서도 이 분야를 WG 13.07으로 구성하여 활발한 연구활동을 수행하고 있다. 여기에 사용되는 차단기 개폐 제어부에서는 제어목적에 적합하게 인가전압의 침투치나 영점 교차시점 혹은 전류영점을 기준으로 일정시간 전에 접점이 동작

되도록 각 상의 관련 신호로부터 동작시점을 결정하기 위해 주어진 알고리즘의 수식적 연산들이 수행되게 된다.

그리고 이러한 차단기 동작시점 결정과정에는 차단기의 특성들이 세심하게 고려되어야 하기 때문에 아날로그 신호처리 방식에서는 구현되기 어려웠던 개폐개념들이 차단기 제어부의 디지털화로 이루어지게 된 것이다. 개폐제어 기술의 개발동향으로는 스위스를 비롯한 유럽과 북미 그리고 일본 등에서 1980년대 말부터 현장에 시범적으로 적용되기 시작하면서 최근에는 ABB 등에서 상업화된 제품이 국제 전시회를 통하여 소개되기도 하는 단계이고 국내에서는 한국전기연구원에서 관련업체와 협력하여 기술개발을 추진하고 있는 상태이다.

3. 변전소 자동화 분야

발전소에서 송전선로를 통해 수송된 전기에너지를 가정과 공장에서 사용하기 편리하도록 변환시켜 주는 역할을 담당하는 변전소는 차단기, GIS, 가스절연 개폐장치, 변압기, 모선(Bus), 등 다양한 종류의 전력기기들로 구성된다. 이러한 변전소에서는 관련신호의 대상에 따라 센서를 포함한 검출기기들로부터 각종 정보 및 신호를 검출하여 구성기기 자체적으로 또는 일련의 구성기기 그룹(Bay)별로 혹은 변전소 단위별로 정보 및 신호를 교류하고 판단하여 효율적으로 변전기기들을 운전, 감시, 진단, 제어, 보호, 관리하는 종합적인 보호계전 시스템이 필수적으로 요구된다. 전기에너지의 사용 역사와 함께 전력계통의 효율적 운용과 보호를 위해 사용되고 있는 이러한 보호계전 시스템은 기존의 아날로그 기술에 의해 구성되어 오다가 1970년대 초부터 마이크로 프로세서의 개발과 함께 계전기 기술분야를 중심으로 점차 디지털화 되어가고 있으며 1990년대 초부터 국내에서도 디지털 계전기가 적용되기 시작하였다. 이러한 움직임의 배경에는 디지털



〈그림 1〉 개폐제어 차단기의 구성도

기술의 발전이 종래의 아날로그 기술로 구현되던 보호계 전 기술들을 기능구현에 있어 보다 유연한 디지털 시스템으로 대체 가능하게 하였을 뿐 아니라 앞으로 다가올 전력공급체계의 경쟁과 이에 따른 계통운용의 다양한 요구들에 대해 적합한 정보들의 범위와 필요성이 전력공급자나 수요자 측면에서 전력공급 및 수급을 위한 경제적 의사결정을 수행하는데 점차 확대되어지기 때문이다.

따라서 최근 세계적 기술선진국들의 개발에 관심의 대상이 되고 있는 변전소 자동화(Substation Automation) 기술은 디지털 기술을 토대로 하여 이러한 요구들을 만족시킬 수 있도록 수치해석과 통신기술과 같은 다양한 분야들을 통합하여 이루어 가고 있다. 세계적으로는 변전소의 완전 무인화 및 자동화를 목표로 지난 20여년간 디지털 제어형 변전시스템의 요소기술인 제어기술, 전력전자기술, 진단기술 외에도 1990년대에 디지털기술, 광기술, 센서기술 등 핵심적 요소기술을 집목시켜 차세대형 변전시스템을 개발하고 있다. 그리고 세계시장에서도 변전소 개별기능의 여러 장치를 복잡한 결선으로 연결한 아날로그형 자동화 시스템은 점차 사라지고, 하나의 시스템이 보호, 현장제어, 데이터통신, 진단 등 여러 가지 기능을 종합적으로 수행하는 정보집약형 디지털형 자동화 시스템으로 교체되고 있다. 특히 개별 전력기기에 지능형 전자장치(IED : Intelligent Electronic Device)를 부착하거나 지능형 전력기기를 개발하여 사용함으로써 자기진단 기능이 있고 다양한 데이터 통신이 가능하여 분산 제어 및 완전 자동화 운전이 될 수 있는 시스템이 세계시장을 주도할 전망이다. 그리고 일단 도입된 시스템에 대해서는 구성기기 간의 결속력이 크기 때문에 확장, 교체 등의 요인이 발생할 경우 동일기업의 제품선정 가능성이 매우 높으며 신설되는 변전소설비에 있어서도 동일개념의 시스템 도입을 선호하게 되므로 빈익빈 부익부의 시장 형태가 심화될 것으로 전망된다.

21세기를 앞두고 있는 우리 나라 역시 전력수요가 2010년경에는 현재의 1.5배로 증가할 전망이다. 국민생활의 전기의존도가 급격히 증대하며 정보화 및 지식기반화 사회로의 전환이 가속화되어 감에 따라 국민생활과 사회의 기반인 전력시스템은 사회요구에 부응하여 보다 정확하고 신속하며 안전하고 전기품질이 높은 고신뢰성 시스템으로 변화되어야 할 것이며, 또한 전력산업의 경쟁력 강화를 위한 구조개편을 앞두고 있어 변전소 전력설비의 완전 무인화 및 자동화가 필수적으로 요청되고 있다. 변전설비의 자동화는 1980년대부터 현재까지 약 15여년간 변전소의 무인화를 위해 제어기술, 전력전자기술 등 관련 요소기술의 발전에 힘입어 꾸준히 발전되어 왔고, 두뇌에 해당하는 중앙의 송변전 운영시스템 및 전력정보처리시스템과, 신경다발에 해당하는 대규모 전력소 및 소규모 전력소의 송변전 설비제어시스템은 외국기술의 도입으로 상당한 발전을 이룩하였으나, 말단 신경계에 해당하는 개별변전소에 있어서는 디지털화가 되지 않은 재래식 전력기기, 아날로그 형태의 신호, 단순한 정보신호 등을 채택하고 있어 효율적인 실시간 전력감시·제어 및 보호 등에 한계가 있는 실정이다.

향후에도 전력시스템이 더욱 복잡·다양화되고, 또한 변전소 및 구성기기의 고성능화, 고기능화, 고신뢰화 및 무유지보수화에 대한 사용자의 요구조건이 더욱 증가할 전망이다. 이를 충족시키기 위해서는 전력기기의 지능화가 필수적이기 때문에 변전설비의 감시·제어 및 보호에 필요한 하드웨어와 소프트웨어 기술이 더욱 발전할 것으로 전망된다.

가. 국내 기술개발 동향

개별 전력기기 즉, 차단기, 변압기, GIS 등의 원천기술에 대하여는 국내 중전기 업체 및 연구소 등에서의 지속적인 연구와 노력으로 국내에서 2002년부터 송전계통

으로 운영할 계획으로 있는 765kV급까지 개발함으로써 기술의 선진화가 상당한 수준까지 달성되었으나, 향후 세계시장에서 경쟁력의 관건이 될 것으로 보이는 디지털 기술의 도입에 의한 고기능성, 지능화, 시스템화에 관련된 기술은 아직까지 초보적인 단계에 머물고 있는 상태이다.

국내에서는 1989년 3월부터 1992년 9월까지 한국전력공사 기술연구원과 기초전력공학공동연구소가 공동으로 “변전소의 보호·제어를 위한 디지털 시스템 개발” 과제를 수행함으로써 디지털 보호계전기의 국산화 개발을 위한 기술기반을 마련하기 시작하였다. 그 이후 후속과제로 1997년 2월까지 3년 동안 수행한 “변전소 종합보호제어 시스템 설계 및 제작기술 개발에 관한 연구”는 디지털형 종합 보호제어 시스템의 실용화를 목적으로 하였으나 최종 상업화에는 미흡한 부분이 있었고, 이어 기초전력공학공동연구소에서도 변전소의 자동화 및 무인화를 위한 종합제어보호 시스템의 연구개발 과제를 수행하여 시작품 제작까지 실시하는 등 다양한 노력들이 이루어지고 있는 상태이다.

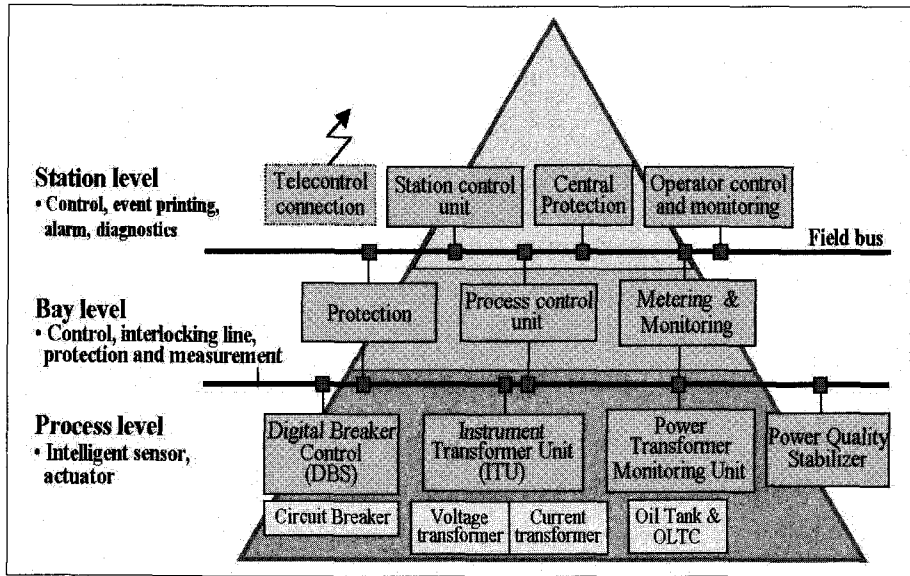
변전소 자동화와 관련된 기기들을 제작하는 국내 제작업체들도 보호, 제어, 통신기능을 가지는 송전급 및 배전급 디지털 릴레이를 중심으로 디지털 변전소 자동화시스템의 구성기기에 대한 연구개발 필요성을 인정한 상태이며, 1990년대 초에 관련업체들이 디지털 계전기에 관한 전기공업협동조합 규격을 만든 이후에 많은 기술개발을 통해 계전기 관련기술이 발전되어 왔다. 현재 배전급 디지털 보호계전기는 다수의 업체들에 의해 다양한 종류로 국산화 개발이 이루어지고 있으며 송전급 디지털 보호계전기도 선로보호용 및 주변압기 보호용이 이미 국산화 개발이 완료된 상태이다. 그러나 디지털 변전소 자동화시스템에 적용이 가능한 종합적인 보호, 제어, 감시 및 통신기능을 가진 고성능 디지털 보호계전기 및 기기별 IED의 개발은 아직 미흡한 실정에 있다.

나. 국외 기술개발 동향

디지털 변전소 자동화시스템의 관련 기술을 선도하는 대표적인 세계 기업으로는 Siemens, ABB, Alstom 그리고 GE Multilin 등을 들 수 있으며, 이 선진기술들의 추구하는 방향은 분산시스템 형태로 전자기적 외란 (Electromagnetic Disturbance)에 간섭을 받지 않는 광통신 방식으로 중앙장치와 현장에 설치된 지능형 (intelligent) 기기들 간의 결합을 구성하고 있다. 또한 현장기기들의 운전조건들은 중앙장치에서 일괄적으로 설정할 수 있게 하여 신뢰성 있고 효율적인 운용이 가능하도록 하고 있다. 그리고 시스템 총합기술(Total Engineering)과 변전소 자동화에 필요한 모든 기기들의 생산능력을 보유하여 일관성 있는 시스템 구성이 가능한 상태에 있다. 해외의 선진 업체들은 현재 디지털 변전소 자동화 시스템을 경쟁적으로 개발중에 있으며 대표적인 예로서 ABB의 Micro-SCADA, Alstom의 Space 2000, Siemens의 SICAM(그림 2 참조) 등이 있다.

4. 전력기기 진단분야

전력기기에서의 상시상태감시(continuous condition monitoring) 기능은 감시대상 신호의 디지털화와 함께 수치해석기법 및 통신기능 등의 도입으로 기존 아날로그 형태의 감시방식에 비하여 상태점검의 신뢰도를 높일 수 있는 많은 장점을 제공할 수 있게 되었다. 그리고 디지털화된 진단기법은 단순한 계측수준에서 벗어나 전력기기의 열화상태를 평가하는데 부분방전과 같은 복잡한 절연 열화 메카니즘의 분석방법 도입이 가능해지고, 현장경험과 지식이 풍부해야 하는 어려움 때문에 제한적일 수밖에 없는 전문인력이 각 현장마다 상주하지 않아도 원격지에서 많은 대상기기들을 담당할 수 있게 한다. 디지털 기술로 구현되는 감시진단기능들은 현재 많이 적용되고 또 연

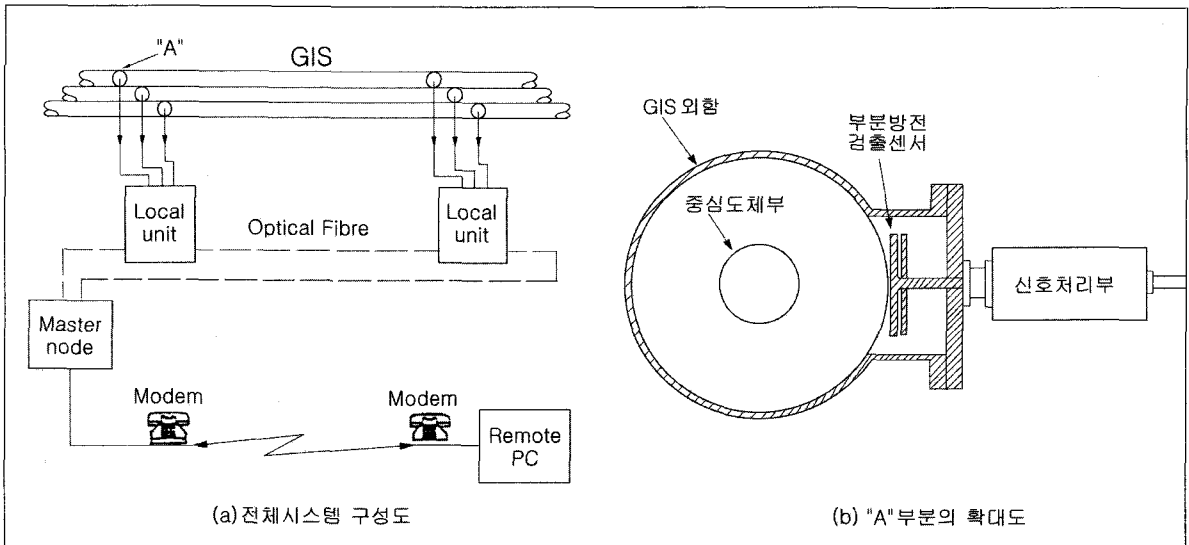


〈그림 2〉 변전소 자동화 개념도 예(Siemens)

구중에 있다. 대표적 진단시스템의 예로는 그림 3과 같은 GIS의 부분방전 감시진단 시스템을 들 수 있으며 이는 GIS 내부에 진행되는 열화의 경향을 부분방전 신호검출

을 통하여 감시하고 있다가 일정시점에서 유지보수를 할 수 있게 함으로써 사고를 미연에 방지하게 된다.

GIS 감시기술은 1990년대 초부터 영국의 DMS사를



〈그림 3〉 GIS 부분방전 감시진단 시스템

중심으로 독일과 일본 등에서 많은 연구가 수행되어 오고 있는데 현재는 상용화된 제품들이 유럽 및 동남아 국가들의 변전소 현장 GIS에 다수 설치되어 운영되고 있으며, 앞으로는 GIS 구매 시방서에 진단기능이 포함되는 경우가 많아질 움직임이 있어 관련기술의 개발은 더욱 활기를 띠 것으로 기대된다.

전력기기 진단분야의 국내기술 동향으로는 한국전력공사가 765kV급 전력설비에 예방진단기술의 도입을 적극적으로 고려하고 있고 진단 및 변전소 자동화에 대한 연구과제도 수행한 예가 있지만 관련제품 및 구성부품의 상업화 개발은 아직 미진한 수준에 있다. 그리고 일반 공공시설이나 산업체에 적용하기에는 성능과 경제적 측면에서 어려움이 있고, 전력기기의 상태를 평가하는 알고리즘과 측정기술들도 외국 의존도가 높은 편이다. 따라서 진단 및 감시를 위한 각종 센서와 이에 적합한 신호처리기술의 국산화 노력은 측정부의 저가격화와 함께 다양한 조건에 대한 데이터 취득의 기회를 제공할 수 있어 진단시스템의 기술 향상과 도입을 더욱 가속화시키는 동기부여를 제공하게 될 것이다.

한편, 선진국의 기업화 및 실용화 기술동향으로 미국에서는 MIT와 7개 전력회사가 공동으로 투자하여 TPAS (Transformer Performance Analysis System)을 개발하고 있으며, 유럽의 Siemens, ABB, Alstom 등에서는 감시 및 제어시스템에 예방 및 진단 기능을 추가해 가고 있는 중이고, 일본의 히다찌, 도시바, 후지 등의 전력기기 제작사에서는 변전소, 발전소 등의 전력설비를 종합적으로 감시진단 및 관리할 수 있는 전문가 시스템을 개발하고 있다. 또한 선진국 대학 및 연구소의 기술동향으로는 일본의 나고야대학, 전력중앙연구소 등과 독일의 하노버대학, 쉐링연구소 등에서 진단을 위한 측정기술과 평가기술을 고도화하기 위하여 컴퓨터를 이용한 해석과 디지털 신호처리를 이용하는 기술에 대해 중점적으로 연구

를 수행하고 있다.

5. 맺음말

본고에서는 전력용 디지털시스템에 관하여 개폐제어 차단기와 변전소 자동화 시스템 그리고 전력기기 진단시스템을 대상으로 각 분야별 국내외 개발동향을 살펴보았다.

디지털화 기술은 우리의 일상생활 양상을 현격히 변화시킨 핵심적 기술로서 앞으로도 그 발전의 정도와 그 영향은 예측하기 쉽지 않다. 이러한 기술적 변화의 큰 물결이 전력분야 역시 예외일 수 없지만 전력에너지 공급을 위한 시스템의 안정적 운영과 이에 따른 신뢰도 확보가 무엇보다 우선적으로 고려되어야 하는 특수성이 있기 때문에 그동안 그 어떤 분야보다 그 활용에 신중하고 보수적일 수밖에 없었다. 그러나 디지털 기술의 도입이 가져다 줄 수 있는 장점들에는 기존의 아날로그 기술로 수행하던 기능들을 대체하여 효율을 높일 수 있는 분야가 있으며 또한 디지털 기술로만이 창출될 수 있는 새로운 기능들로서 앞으로의 복잡 다변화하는 전력환경에 대하여 전력계통 운용 및 전력설비 제어, 관리에 필수적인 정보와 기능을 제공하는 역할이 있기 때문에 디지털 기술의 활용에 보다 적극적인 자세를 가지는 것이 필요하다.

현재 디지털 기술의 전력분야 적용현황을 보면 국내기술이 해외 선진업체들에 비해 다소 뒤져 있다. 그러나 세계선진 기술들도 아직 초기 개발단계에 있으므로, 개별 전력기기와 정보통신, 전력전자 등의 IT분야에서 확보하고 있는 국내기술의 강점을 고려해 본다면 이 분야는 우리의 노력 여하에 따라 세계시장에서 충분히 경쟁적인 위치를 확보할 수 있을 것으로 보이며, 이를 계기로 국내 중전기 산업이 크게 활성화되어 수출주도산업으로 성장할 수 있을 것으로 판단된다. ■