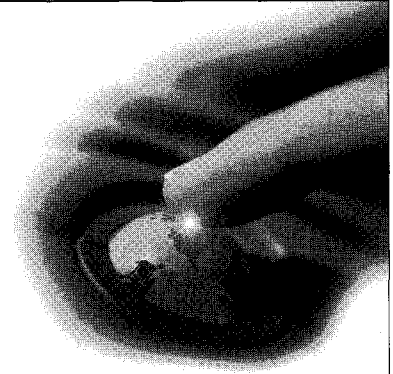


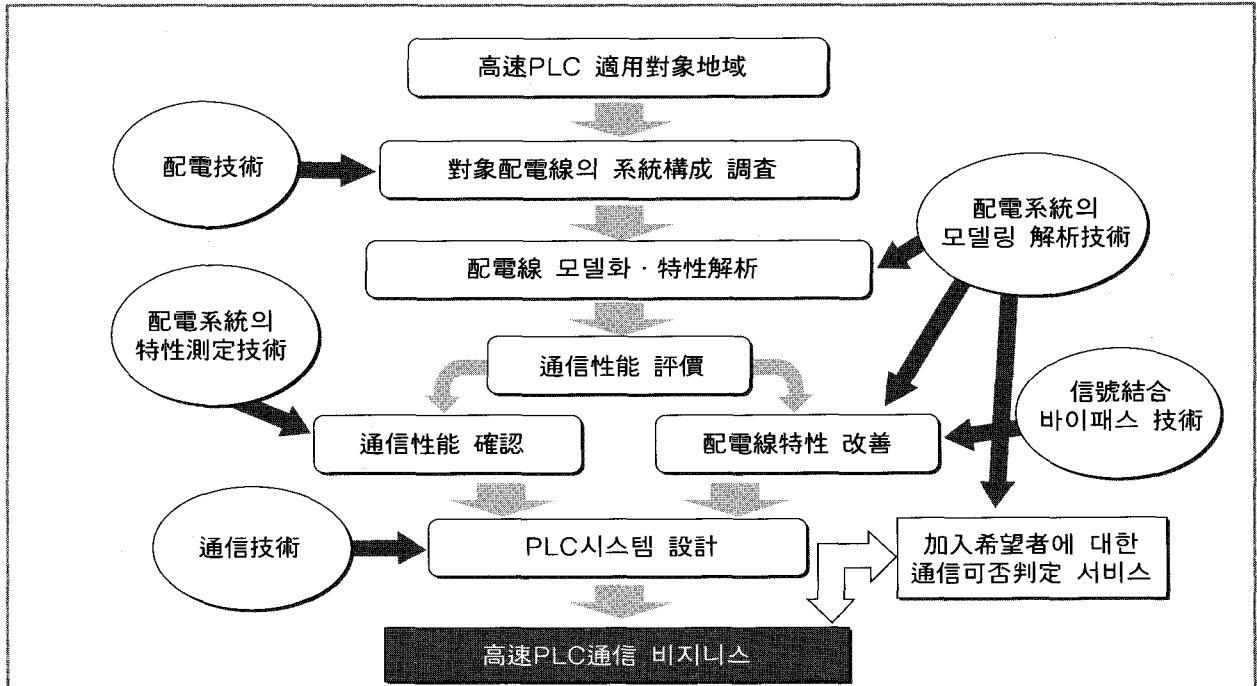


고속 전력선통신에 필요한 전력시스템 기술



고속의 전력선통신(PLC : Power Line Communication) 시스템은 시설의 전력선을 통신매체로 이용하기 때문에 전력계통에 관한 기술과 통신기술의 통합이 필요하다. 전력선은 본래 50Hz 또는 60Hz

주파수의 교류전력을 송전하기 위해 부설되어 있는 것이다. 전력계통을 구성하는 설비는 상용주파수 영역에서 일반적으로 인덕턴스, 커패시턴스 등 집중정수(集中定數)의 회로로 표현되어, 송전전력 및



배전선을 통신선으로 이용하는 기술

고속PLC는 배전선을 이용하기 때문에 배전선의 구성 등에 대하여 2~30MHz의 주파수영역의 전송특성을 파악하고, 통신선으로서 충분한 성능이 나올 수 있는 기술개발이 필요하다. 이 그림은 전력시스템기술의 관점에서 배전계통의 기술해석 등 고속PLC시스템개발에 필요한 기술과제를 보여주고 있다.



전압을 교류회로로 계산한다. 한편, 고속 PLC에서 대상으로 하는 2~30MHz의 주파수 영역에서는 선로가 분포정수회로(分布定數回路)로 표현되어 반사 및 투과현상으로 특성이 평가된다.

상용주파수 영역의 송전에는 문제가 없는 계통구성에서도 고주파영역에서는 감쇠(減衰)가 커지게 되어, 통신선으로 적합하지 않은 경우가 있다. 따라서 고속 PLC에서 대상으로 하는 주파수영역에 대하여 선로의 특성을 파악하고 통신선으로서의 적합성을 평가하는 것이 매우 중요하다.

또한, 전력계통에서는 계통사고에 대한 보호동작, 사고제거 후의 복구조작, 또는 계통의 성장, 부하의 변화에 대응한 계통구성 전화조작이 시행되어, 계통의 구성이 변화하는 경우가 있다. 통신선으로 받아들였을 때 통신네트워크가 외적요인에 의해 변화하여 통신경로가 변경되는 것을 의미한다. 고속 PLC는 주로 배전선을 이용하게 됨으로써 미쓰비시電機에서는 “배전선의 통신화기술”이라는 이름을 붙여 특성 측정, 배전선·배전기기의 모델화, 계통해석기술 등의 기술을 개발하고 있다.

1. 머리말

고속PLC에서는 본래 전력을 송전하는 배전선을 통신선으로서 이용하기 위한 기술개발이 중요하다.

여기서는 주로 전력계통의 특징과 배전선을 통신선화하기 위한 PLC 기술개발 항목에 관하여 개요를 기술한다.

2. 전력계통의 특징과 PLC기술과제

가. 계통전압

전력계통에서는 계통운용상, 전력수송량에 대응하여 복수의 전압을 목적에 따라 각기 달리 사용하고 있다. 그 가운데 고속PLC는, 배전분야인 11kV, 22kV의 중압(中壓, 한국의 경우는 22.9kV의 특고압)과

200/400V의 저압(低壓, 한국은 220/380V)의 두 가지를 대상으로 하고 있다.

(1) 중압(MV : Middle Voltage)배전선

나라에 따라 다르며 6.6, 10, 11, 17, 20, 22, 33, 66kV로 여러가지가 존재한다. 신호결합장치와 같이 전압충전부 근방에 설치하는 장치에있어서는, 전압구분에 대응한 전기절연강도의 배려 등 배전선의 정격치에 대한 고려가 필요하다.

(2) 저압(LV : Low Voltage) 배전선

저압배전선은 100/20V급과 200/400V급으로 대별된다. 나라마다 약간 다르며 110/220V, 115/230V, 120/240V, 127/220V 등의 분류가 있다.

200/400V급도 220/380V, 230/400V, 240/415V 등의 분류가 있다. 유럽의 각 나라는 대륙계의 220/380V 방식과 영국을 중심으로 한 240/415V로 대별되어 있으나, IEC-60038의 공칭전압의 통일규격인 230/400V로의 이행을 추진하고 있다.

저압의 경우는 전압의 차이 외에 단상 3선식, 3상 3선식 3상 4선식 등 배전방식의 차이도 있다. 전력선에 신호를 결합하는 경우에 이 방식의 차이도 고려하지 않으면 안된다.

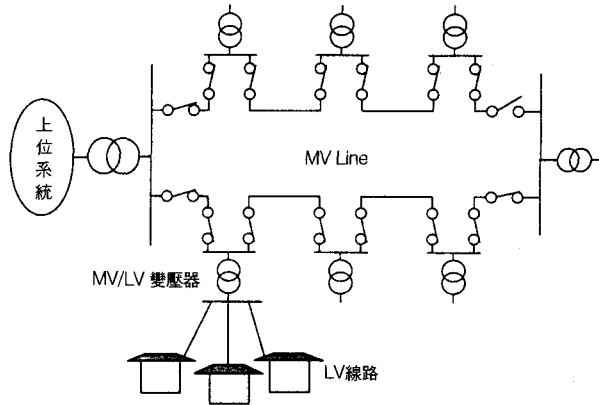
나. 계통의 형상(Topology)

전력계통은 전력공급정지를 적극 줄이는 관점에서 복수의 경로에 의한 공급이 바람직하다. 한편, 전력계통에 복수의 공급경로가 있을 때 각기의 경로를 통과하는 전력은, 경로의 임피던스의 역수에 비례하여 정해져, 전력통과량을 자유로이 제어할 수가 없다. 이 때문에 특정 경로의 통과전력이 과대해져 선로의 송전용량을 초과하는 일이 야기될 경우가 있다.

따라서 평상시 단일 경로로 전력을 공급하고 필요에 따라 개폐기의 개폐(開閉)에 의해 경로를 전환하는 일이



그림 1 Open Loop 시스템



많다.

유럽에서는 그림 1에 표시한 것과 같이 루프구성이지만 평소 1개소를 개방한 오픈루프 계통이 많이 채용되고 있다. 이외에 네트워크 방식, 본 예비방식, 분할연계방식 등 여러 가지 방식을 생각할 수 있다.

다. 계통접속의 변경과 장애우회(障害迂回)

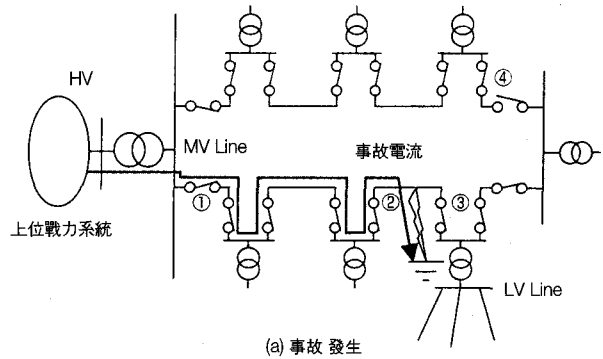
계통의 접속상황은 전력계통 운용상의 필요에 의해 변경된다. 통신 네트워크로서의 관점에서 예고없이 고속PLC의 통신경로가 변경되는 것을 의미한다.

계통에 사고가 발생했을 경우의 예를 설명한다.

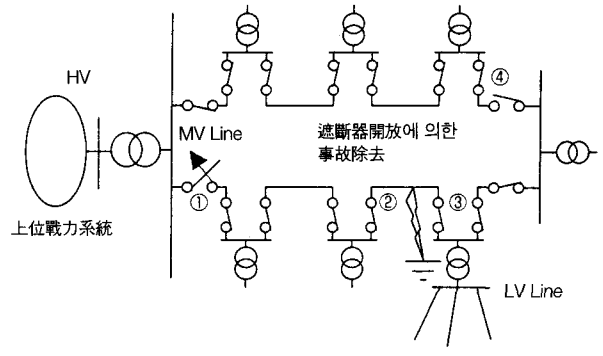
계통에는 높은 전압이 인가되어 있기 때문에 지락사고가 발생하면 그림 2의 (a)와 같이 전원에서부터 큰 사고전류가 흐르게 된다. 이 사고전류를 변전소의 보호릴레이로 검출하여 사고선로를 판정하고 변전소 차단기 ①을 개방(開放)한다. 이것에 의해 사고전류가 차단된다.

배전선이 가공선인 경우, 차단기 조작에 의해 사고전류를 차단하게 되면 공기에 의한 절연이 회복되는 일이 많기 때문에 차단기를 투입(投入)하고 재송전을 하는 것이 기본이다. 배전선이 지중케이블의 경우, 사고부분의 절연이 회복되지 못하기 때문에 사고구간의 양단의 개

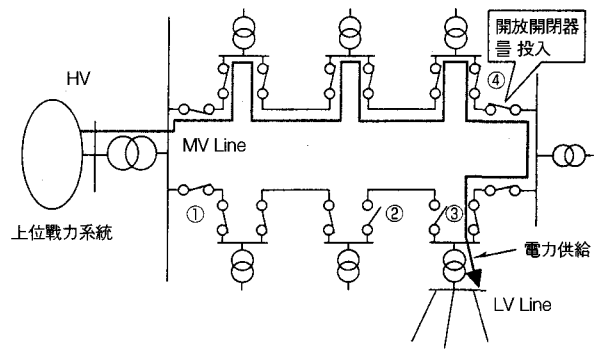
그림 2 시스템 사고 대응에 따른 시스템 구성 전환에



(a) 事故發生



(b) 遮斷器開放에 의한 事故除去



(c) 線路轉換

폐기 ②, ③을 개방(Open)하여 사고구간을 배전계통에서 분리하고 차단기 ①을 투입한다. 개폐기 ②, ③의 개방에 의해 ③의 우측 구간 부하는 배전계통에서 분리된 상태가 되므로 개폐기 ④를 투입함으로써 그림 상부의 선로에서 전력을 공급하게 된다.



전력계통은 사고 이외에도 부하의 증감 또는 계통의 공사 등에 대응하여 부하에 공급하는 선로를 변경하는 경우가 있다. 이와 같은 조작에 의해 통신선으로서의 접속상태가 변경되는 경우가 있다. 따라서 PLC시스템에서 통신경로로서의 장애 검출을 시행하여 자동우회(自動迂回)하는 기능이 필요하게 된다.

라. 배전계통 구성과 PLC 설치환경

배전계통은 본래 전력공급을 위한 설비이기 때문에 PLC 모뎀 및 신호결합장치 설치시에 고전압의 작업을 수반하는 경우가 있다. 또 온도조건 등의 설치환경은 배전계통의 구성(배전선의 종류, 변압기의 종별)에 의존하게 된다.

배전선의 종류로는 지중케이블 및 가공배전선이 있다. 변압기도 주상변압기, 지상설치의 밀폐형 패드마운트 변압기 및 실내 설치의 변압기가 있다.(표 1 참조)

(1) MV, LV 동시에 지중 매설케이블의 경우

MV/LV 변압기가 옥내 또는 지하실에 설치되어 있을 경우 MV 노드 및 신호결합장치의 설치스페이스는 비교적 확보하기가 용이하다. 그러나 변압기가 옥외설치의 경우는 노드 및 신호결합장치의 설치스페이스가 별도로 필요하게 된다.

(2) MV, LV 공히 가공배전선의 경우

MV/LV 변압기는 전주 위에 설치된다. MV 노드 및 신호결합장치는 변압기 근방에 설치되기 때문에 옥외설

치용을 위한 설계로 된다. 또, 고압의 배전선 근방에 설치되기 때문에 안전성에 대한 대책과 설치를 용이하게 하기 위한 검토가 필요하다.

(3) MV는 가공배전선과 지중매설케이블이 섞여있고, LV는 가공배전선인 경우

주택지 근방까지 MV 가공 배전선으로 배전하고, 전주에서 MV케이블을 인출하여 주택 가까이의 변압기까지 지하매설로 공급한다. 변압기는 주택지 내에 설치되기 때문에 밀폐형의 패드마운트 변압기를 채용하고 있다. 변압기를 수납한 밀폐개비닛만이 지상에 설치되고 배전선은 지하매설로 되어 있다. MV노드, 변압기 내부에 설치하는 신호결합장치의 설치스페이스의 확보가 과제이다.

3. 전력선에의 신호결합 기술

가. 신호결합기술의 필요성

고속 PLC의 고주파신호를 전력선에 중첩(重疊)하는 장치를 결합장치(Coupling Unit)라 한다. 그림 3과 같이 주택내의 CPE(Customer Premises Equipment : 주택내 모뎀)에서는 전등선에서 전력을 공급받는 것만이 아니고, 정보콘센트로서 신호결합장치를 통하여 전력선을 이용하여 송·수신한다. 이 구성에 의해 주택내의 PLC모뎀을 콘센트에 끼우는 것만으로 통신이 가능해진다.

표 1 MV 및 LV 線路의 편성

배전선 편성	MV선로	변압기	LV분기반	LV선로	지역성
1	케이블	옥내변압기실/지하변압기실	옥내버스바	케이블	유럽도시부, 아시아
2	케이블	옥외변압기	옥내버스바, 지랍옥외변내버스바	케이블	유럽지방도시
3	가공선	주상변압기	분기접속	가공선	미국, 남미, 일본
4	가공선+케이블	지상용(패드마운트)변압기	지중Junction Box	케이블	미국



그림 3 _ 信號結合方式

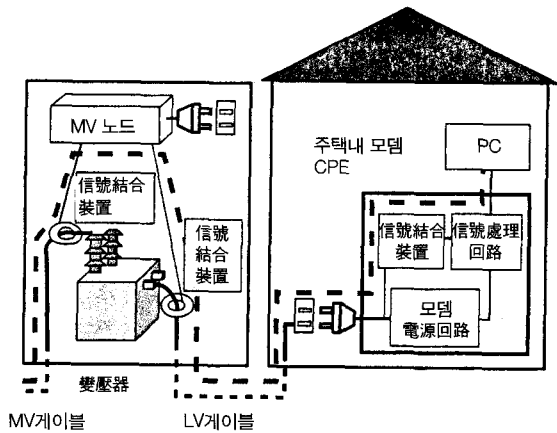
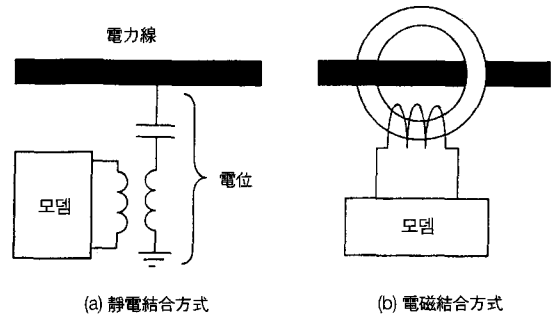


그림 4 _ 信號結合原理



나. 신호결합방식

모뎀의 신호를 전력선에 중첩하는데 대별해서 정전결합(靜電結合, Capacitive Coupling)방식과 전자결합(電磁結合, Inductive Coupling) 방식이 있다.(그림 4 참조)

(1) 정전결합방식

모뎀의 출력을 트랜스포머와 수천 pF 정도의 캐퍼시터를 거쳐 전력선에 결합한다. 상용주파수에 대해서는 캐퍼시터의 임피던스가 높기 때문에 상용주파수 전압은 캐퍼시터에서 분담한다.

2Hz 이상의 고주파에서는 캐퍼시터의 임피던스가 낮아지기 때문에 모뎀은 캐퍼시터를 거쳐 신호를 주고받게 된다.

충전부에 직접 접촉하기 때문에, 특히 중압(中壓 : 고압 이상) 배전선에 적용하는 경우에는 절연기준을 만족시키지 않으면 안된다.

(2) 전자결합방식

변류기(CT : Current Transformer)와 마찬가지로 원리로 코어를 통하여 전자유도(電磁誘導)로 신호를 주

고받게 된다. 실드케이블에 대해 코어를 분할하여 크랭크형으로 함으로써 설치가 용이해진다. 이 방식은 충전부와 접촉하지 않는다.

일반적으로 도체에 상용주파전류가 흐르기 때문에 상용주파수전류가 만드는 자계(磁界)에서 코어가 포화하게 되면 PLC신호를 결합할 수 없게 된다. 정격상용주파수전류에 있어서 포화특성(飽和特性)을 고려한 코어재료의 특성과 코어형상에 대한 검토가 필요하다.

이들의 신호결합방식은, 설치환경 · 설치목적, 시공성, 내(耐)환경성 등을 고려하여 선정하게 된다.

4. 배전선특성 파악과 배전선의 모델화 기술

가. 배전선의 통신성능

기설의 배전선을 통신선으로 이용하기 때문에 고속 PCL의 통신은 배전선의 2~30Hz의 주파수영역의 신호전송특성에 영향을 주게 된다.

미쓰비시電機는 세계 각지의 필드시험에 참여하여 배전선의 특성(신호감쇠특성)을 측정하고 있다. 그 결과 배전선의 재질, 분기(分岐) 등의 구성에 따라 감쇠특성(減衰特性)이 달라지고 있는 것을 파악하고 있다.

따라서 PLC시스템으로서 배전선의 특성을 파악하여 통신선으로서의 특성을 평가하는 기술 개발은 반드시



필요한 것이다. 또한 대량의 서비스 실시단계에서 가입 희망자의 장소에 대해 통신성능을 예측하여 제공되는 서비스 수준을 해답해주는 서비스가 필요한 것으로 생각된다. 이 때문에 서비스 가부(可否)를 판정하는 기술 개발이 과제가 된다. 이 장에서는 배전선의 특성 파악에 관하여 기술한다.

나. PLC시스템 설계절차

PLC시스템 설계의 절차는 그림 5와 같다.

배전선 특성을 파악하기 위해 대상배전선의 모델화, 특성해석이 반드시 필요하다. 배전선 특성의 모델화를 위해서는 특성측정결과에 의한 모델의 타당성 검증이 전제되기 때문에 특성측정기술과 해석기술을 함께 그 개요를 기술한다.

다. 배전선특성 측정과 해석기술 개발

고속PLC는 2~30MHz 대역의 주파수를 이용한다. 대상으로 하는 배전선의 통신성능을 평가하기 위해 이 영역에서 배전선신호 감쇠의 특성해석장치(Broadband Power-line Channel Analyzer)를 개발했다. 이 장치는 전력선의 신호전송 특성으로서 신호의 감쇠(減衰), 군지연(群遲延), 위상특성, 임펄스 응답을 측정할 수 있

다. 이 장치는 제어케이블이 필요없기 때문에 장치의 설치·이동이 용이하며, 거리가 있는 2점 간의 측정이 용이하다. 또한 현지에서 그래프 출력처리를 할 수 있어 작업효율이 높다.

그림 6은 측정예를 표시한 것이다. 주파수에 따라 감쇠의 정도가 달라지며, 감쇠의 요인은 전력선의 특성임피던스, 손실특성, 분기선의 유무, 분기수, 분기선로의 길이, 부하의 유무 등 계통구성의 토폴로지(Topology)와 구성기기의 특성에 의존한다.

상기 장치를 이용하여 그림 7에 표시한 22kV케이블 계통의 복수의 케이블구간에 대해 실측하였다. 결과를 종합하면 그림 8과 같다. 횡측에 케이블 구간의 거리, 종측에 신호의 감쇠를 나타내었다. 2개의 선은 그림 6과 같은 주파수특성 측정결과에서 5MHz 및 10MHz의 포

그림 5 _ PLC시스템 설계절차

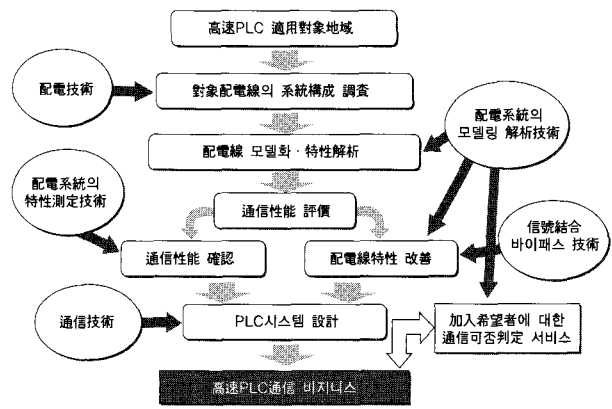


그림 6 _ 配電線の 信號傳送 특성측정 예

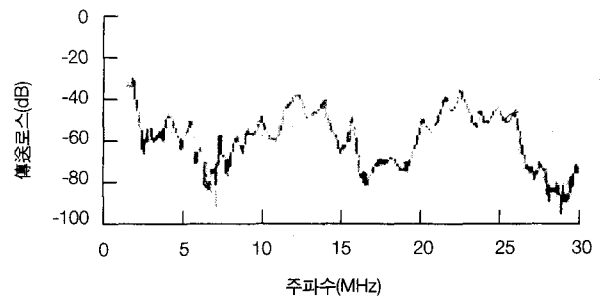


그림 7 _ 特性測定 케이블 系統

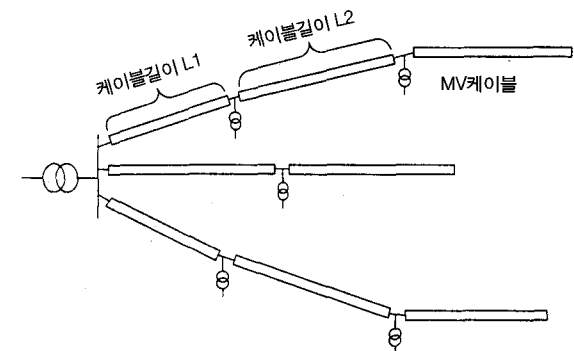




그림 8 케이블系 減衰特性의 周波數 依存性

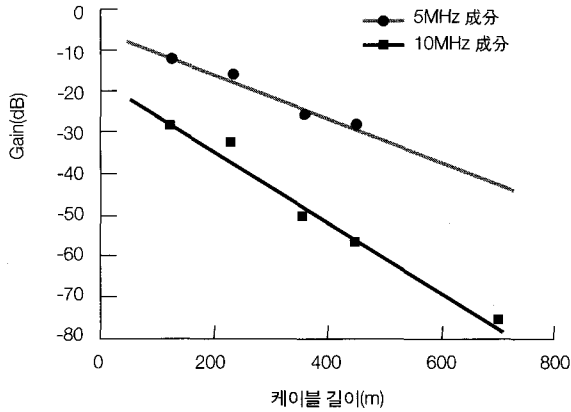
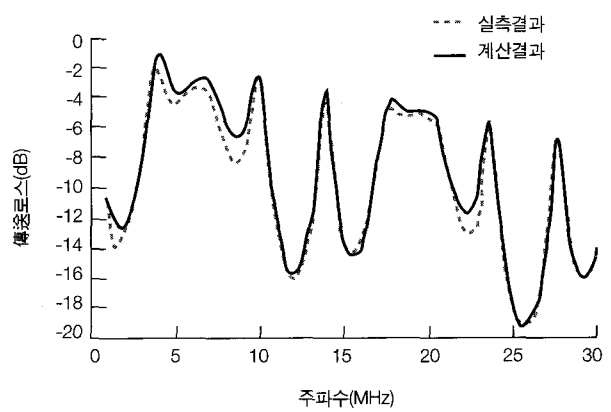


그림 9 模擬配電系統에서의 傳送로스 實측결과와 계산결과의 비교



인트에서의 신호감쇠량과 피측정구간의 케이블 길이를 플롯한 것이다. 거리에 의존하여 감쇠하고 있는데다 주파수에 따라 감쇠특성이 달라져, 높은 주파수에 있어서 감쇠의 정도가 크다. 케이블계통에서는 거리와 주파수에 의존한 감쇠특성이 있는 것을 알 수 있다.

한편, 가공배전선에서의 측정은 주파수 의존특성이 현저하지 않다는 결과를 얻고 있어, 배전선의 종류에 따라 특성이 달라지고 있다.

감쇠의 요인으로 전기저항에 의한 도체손(導損), 도체 둘레의 절연피막에 의한 유전손(誘電損), 이종(異種)의 배전선 간을 전송할 때의 특성임피던스의 차이에 의한 반사손(反射損)을 들 수 있다.

고주파영역에 있어서 전기저항의 도체 손은 표피효과(表皮效果)로서 모델화되어 있으며, 미쓰비시電機는 유전손에 관해서도 모델화하여 해석기술을 확립하였다. 동사 모의배전계통에서의 전송특성의 측정결과와 모델에 따른 해석결과는 그림 9와 같다. 양자는 잘 일치하고 있으며, 케이블 모델이 타당하다는 것을 알 수 있다.

라. 배전선특성 개선기술

배전선과 주택내 전등선의 특성을 측정한 결과, 신호

가 현저하게 감쇠하여 통신이 안되는 구간이 존재하는 경우가 있다. 감쇠의 현저한 저하는 분기선과 배전반 버스바에 있어서의 특성임피던스의 불연속의 영향 등을 원인으로 들 수 있다. 대책으로서 전송경로상의 감쇠가 큰 지점에 대해 신호 바이패스하는 방식을 들 수 있다. 동사는 버스바를 대상으로 모의회로를 작성하여 해석기술에 의거 성능을 설계하여 신호바이패스장치를 개발했다.

5. 고속PLC통신 가부판정기술

고속PLC가 보급단계에 이르게 되면, ADSL과 같이 가입희망자에 대해 통신의 가부(可否)를 해답해 주는 서비스가 필요하게 될 것으로 생각된다. 그림 10은 통신가부판정 서비스의 개념을 표시한 것이다.

통신가부(可否)는 통신선인 배전계통의 특성(감쇠특성)에 크게 의존하지만, 문의사항에 대해 모두 현장에서 직접특성을 측정할 수는 없다. 따라서 배전계통의 가입희망자도 근방의 모뎀 간의 통신특성을 시뮬레이션 등으로 추정하는 기술이 필요하다. 이것에는 앞에서 기술한 배전계통해석기술이 기본이 된다.



◀ 그림 10 통신可否判定서비스의 概念

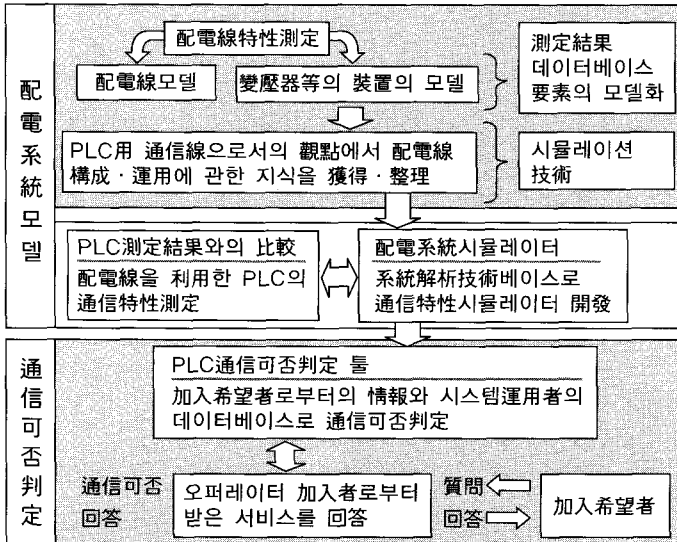


그림 10의 배전계통 모델에 관한 기술은 4장 [다]절의 사고방식이 적용된다. 그러나 계통해석기술은 전용의 해석 소프트웨어가 필요하며 데이터 작성, 모델의 개발, 프로그램 조작 등 전문성이 높아서 누구라도 간단히 사용할 수 있는 기술이 아니다.

이번에 계통해석기술을 기초로 배전계통의 각종요소를 컴포넌트화하여 신호결합장치에서 신호인출장치까지의 컴포넌트를 조합함으로써 시뮬레이션을 시행하는 컴포넌트 베이스 시뮬레이션 기법을 개발하였다.

6. 맺음말

고속 PLC시스템은 여러 방면에 걸친 기술의 결집이 필요하다. 본고에서는 전력계통의 조사 결과를 근거로하여 배전선 통신선화에 관계되는 기술에 관하여 기술하였다.

고속PLC는 앞으로 보급을 목표로 규격화·표준화의 움직임이 있으며 미쓰비시電機도 참여하고 있다. 규격화·표준화를 위해서는 통신을 가능하게 하는 기술과 전력선을 통신선으로 이용하는 경우에 다른 무선기기에의 영향을 평가하는 기술의 양면이 필요하다. 미쓰비시電機는 본고에 기술한 기술에 더하여 EMC기술을 보유하고 있으며, 전파암실(電波暗室)을 이용한

평가를 실시하는 등 PLC 기술의 발전을 위해 공헌하고 있다.

앞으로 고속PLC가 각 나라에 보급되는 것에 따라 배전계통의 특성을 파악하여 시스템을 설계하기 위한 토털 네트워크 시스템 기술이 더욱더 중요성을 더해 갈 것으로 전망된다.

출처: 三菱電機技報(2004. 7)