

저압모터용 디지털 전자 배전반 개발

(Digital Electronic Control Center for Low Voltage Motors)

김성룡·김성호·고강훈*·이현우*

두산중공업·경남대학교*

(Seong-Ryong Kim · Sung-Ho Kim · Kang-Hoon Koh* · Hyun-Woo Lee*)

(Doosan Heavy Industries & Construction Co., Ltd · *Kyungnam Univ.)

Abstract

The digital motor protection, measuring and control equipment, as called "The digital motor control equipment", for applying to single/three phase motors designed an integrated one unit and manufactured a compact size which will be installed on the motor control center. It performs several protection functions and motor starting function, and measures and indicates a several measurement.

This paper proposes the design concept and functionality of new digital motor control equipment to improve control performance and integrate several equipments for the control and protection of the motor.

1. 서 론

산업용 유도전동기의 설비에 적용되는 모터제어장치 의 각 equipment들을 일체화한 디지털 모터 제어장치에 관한 것이다. 종래의 모터 제어방식은 아날로그방식으로 외부로부터 전원을 입력받아 단락고장등의 이상상태에서 회로를 차단하여 입력되는 전원의 공급을 차단하는 차단기(No Fuse Breaker), 동작전류/전압을 검출하는 CT/PT, 검출된 동작전류 값이 기 설정된 전류값과 같거나 초과하였을 때 외부 전원을 차단하는 전자식 계전기(또는 열동형 계전기), 외부 모터 전원을 공급 차단하는 전자 접촉기, 검출된 전원의 상태 및 기기동작 상태를 사용자에게 정보를 제공하는 표시부,sequence에 따른 보조 계전기,Timer,단자대 등으로 구성되어 있다. 그러므로 아날로그 모터 제어장치에서는 전원 입력부를 통해 전원이 입력된 후 배전용 차단기와 전자식 과전류 계전기를 거쳐 외부 모터로 전압이 인가된다. 전원이 투입된 후 단락등 이상상태가 발생된 경우에 배전용 차단기가 회로를 자동 차단하며 또한 동작전류 값이 기 설정된 기준 값에 비해 클 경우에는 전자식과전류 계전기에 의해 모터전원을 차단하므로 모터를 보호 할 수 있다. 따라서 저압 모터 보호장치로서 종래는 열동계전기 및 전자식 EOCR을 주로 사용하여 아날로그형 Motor Control Center(MCC)로 구성하였으나 보호능력 향상이 필요하였고 고장원인 분석이 안되었으며 모터 콘트롤 센터에는 각종 Panel Meter, 보호계전기류, 조작

및 절환 스위치, Lamp등이 각각 공급 설치되어 고장요소가 많았으며 각각에 대한 Spare 자재 확보 및 유지보수 상에 문제점이 많았다. 또한 고장/사고기록, 운전시간 누적, 원격감시 및 제어할 수 있는 능력을 갖추어 고장 진단/예측 및 원격 제어를 하여 신뢰성 있고 예방진단이 가능한 보호계전 시스템 확보가 필요하였으며 모터 콘트롤 센터에 각각의 Meters, 보호계전기류, 스위치류, 램프류가 각각의 구성 품으로 장착되어 모터 콘트롤센터의 사이즈가 커져서 건축물의 크기가 커져야 하므로 경제적 설계에 대한 고려를 하지않을 수 없었다.

상기와 같은 애로사항을 해결하는 대안으로 개발된 것이 디지털 모터 제어장치이며, 본 논문에서는 디지털 모터 제어장치의 구성에 대하여 기능에 대하여 그리고 적용에 대해 논하고자 한다.

2. 본 론

디지털 모터 제어장치는 기존의 모터보호 및 제어를 위한 기능은 기본으로 구현되고 부가하여 다음과 같은 기준을 설정하여 설계되었다.

1)모터콘트롤센터(MCC)의 각종 Panel Meter, 보호계전기류, 조작 및 절환 Switch, 배전용차단기, Lamp, 통신Unit 등을 한대의 장치로 집중화 되어야 한다.

2)계통의 상수와 PT비, CT비등의 설정을 임의로 조절할 수 있어야 한다.

3) 각종 모터 기동기능(직입기동, 가역기동, Y-D기동, 리액터 기동)지원 및 선택적으로 사용 할 수 있어야 한다.

4) 개폐기의 ON/OFF 조작 및 운전중 MCC/Manual /AUTO 선택 스위치 선택기능이 있어야 한다.

5) 보호기능은 완벽히 구현되고 보호계전기의 동작 상태를 표시하는 LED표시등이 있어야 한다.

6) 모터컨트롤센터(MCC)의 모든 Metering은 Digital로 집중표시 되어야 한다.

7) 고장 및 사고기록, 누적운전시간 등이 저장 가능하여야 한다.

8) 중앙 감시반과의 Data통신 및 원방제어, 감시가 가능하여야 한다.

9) 모터컨트롤센터(MCC)의 계전요소는 자동 및 수동으로 설정 할 수 있어야 한다.

10) 순간 정전 후 복전 시 자동으로 재기동이 가능하여야 하고, 순간정전 시간과 자동 재 기동 지연시간을 각각 설정할 수 있어야 한다.

11) 디지털모터보호 및 계측, 제어장치는 자기진단기능과 시퀀스(Sequence) 감시기능이 있어야 한다.

12) 디지털모터보호 및 계측, 제어장치의 조작스위치는 명판이 인쇄된 누름 버튼형으로 개폐기의 개폐조작 상태 및 계전기의 동작상태 등을 표시하는 적색, 녹색의 LED 표시등이 있어야 한다.

2.1. 디지털 모터 제어장치 (DMPC)구성

모터의 기동정지 및 과전류를 통한 전원 차단 제어등을 위한 디지털 모터 제어장치(DMPC)는 그림1,2와 같이 내부의 전자식 과전류 계전기, 각종 Sequence회로, 보조 계전기, Timer 기능과 표시부에는 전류, 전압, 전력, 역률을 표시하며 각종 Lamp, Push button을 하나의 디지털 기기로 집약시켜 모듈화 하여 배선이 간편하고 유지보수가 용이하도록 일체화하였다. 그리고 외부에 CT/PT 및 차단기를 추가하여 MCC unit화를 하여 Compact한 size로 제작하였다.

과전류, 구속, 단락, 지락, 결상, 역상, 불평형, 부족전류 표시할 수 있어 사고원인을 신속 정확하게 분석하고 파악할 수 있다. 또한 직입기동, Y- 기동, 정역기동등의 각종 Sequence기능을 적용할 수 있다.

그리고 Data 통신 기능을 가지고 있어서 원격에서 통신을 통해 모터제어를 할 수 있고 전류값등과 고장정보와 같은 운전 상태 감시가 가능하며 Network화가 가능하다[1].

그림3 는 디지털 보호제어장치의 내부 구조를 표시한 Block Diagram을 보여주고 있다.

디지털 모터 제어장치는 전원 입력부, 릴레이구동부,

전류/전류 검출부,연산처리장치,Key 입력부,상태 표시부, 외부 접점 입출력부,Program Back up,통신포트로 구성 되어있다.

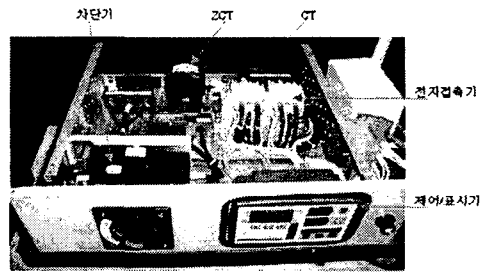


그림 1. 모터컨트롤센터 구조
Fig. 1. MCC unit Structure

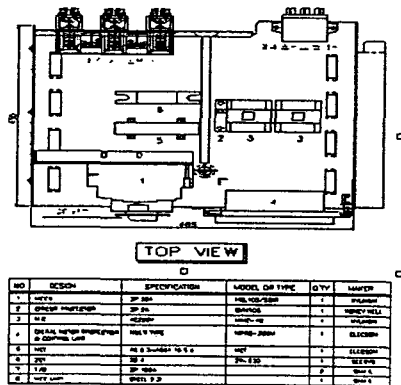


그림 2. 디지털 모터 컨트롤 센터 배치도
Fig. 2. Digital MCC Layout

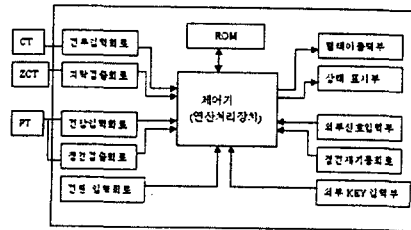


그림 3. DMPC 제어기 Block Diagram
Fig. 3. DMPC Controller Block Diagram

2.2. 디지털 모터 제어장치 주요기능

저압모터의 보호는 열동형 계전기, 고압모터의 경우에는 보호에는 전자식과 전류 계전기를 많이 사용하였으나 최근에는 고저압 모터에서 기능이 많은 디지털 계전기를 설치하고 있다. 그림4는 적용되는 보호특성의 예를 표시하였다.

2.2.1 과전류, 구속, 부족전류 보호 [1][2][3]

가. 과전류보호

3상 선로에 흐르는 전류를 검출하여 대표값 전류를 산출한다. 설정치를 기준으로 백분율(%)로 표시가 가능하며 부하전류의 1.5배이상 과전류가 발생하면 기동 또는 운전 중 모터의 열상태를 판별하여 설정된 동작시간 경과 후 릴레이를 구동시키고 과전류 Trip을 표시한다 (과부하 정정:전동기 특성에 따라 정격전류의 150~250% 범위설정).

나. 구속보호

모터의 운동 중 구속상태와 같은 순간적인 과전류는 stall 보호기능으로 150~9600% 이상까지 설정하여 보호 할 수 있다. 부하기동 후 정상운전 중에 발생하는 구속보호 수준 이상의 급격한 전류변화를 감지하여 2초 이내에 부하차단한다. 모터가 초기에 완전 구속되어 기동이 불가능 할 경우에 lock 보호 기능으로 200~9600% 까지 설정하여 보호할 수 있다.

- . 운전 중 구속 : 3 x 정격전류
- . 기동 중 구속 : (In + Is) x 100/In

다. 부족전류 구속

부족전류 보호기능은 모터와 부하의 접속 상태를 감시하고자 할때나 모터의 회전에 의해서 흐르는 냉각매 체 측, 팬등으로 모터를 냉각 시키는 경우에 모터가 과 열되는 현상을 방지하고자 할 때 쓰인다. 통상적으로 부족 전류 보호는 20~80%이하로 설정하여 사용한다.

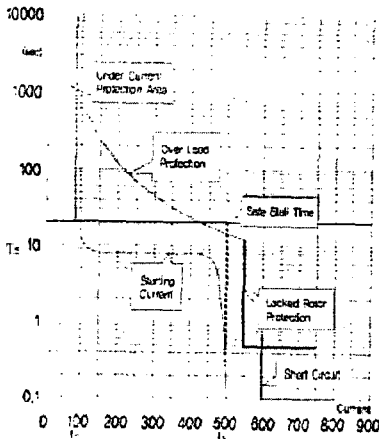


그림 4. 모터 보호용 특성곡선
Fig. 4. Typical Protection Curve

2.2.2 결상전류/불평형 전류 보호

가. 결상보호

상간 결상전류 편차가 70%일 경우 결상을 판단하여 1.5초 이내에 전원을 차단하여 모터를 보호한다.

나. 불평형 전류 보호

불평형율이 70% 이상되면 결상으로 인식하여 1.5초 내에 동작하여 모터를 보호한다.

결상 및 불평형 보호기능은 사용자의 필요에 따라 on/off 선택이 가능하다.

$$\text{불평형율} = (\text{최대 전류값} - \text{최소 전류값}) / \text{최대전류값} * 100(\%)$$

2.2.3 부족전압

모터는 저전압 상태에서는 회전력이 부족이나 고정자 전류의 증가를 가져오며 정전시에는 전원에서 분리해 두지 않으면 전원이 다시 회복되었을 때 자동적으로 재시동하는데 나쁜 영향을 주게된다. 그러므로 적어도 한 상에 대한 부족전압 보호가 필요하며 500마력 이상의 모터에는 3상부족전압 계전기에 의한 보호가 바람직하다.

2.2.4 역상 보호

모터의 기동시 전류의 상이 바뀌어 입력되는 경우에 모터의 역회전을 방지하는 기능이다. 입력되는 3상 전류의 위상차를 비교하여 위상이 바뀌었을 때 0.1초 이내에 동작하게 된다. 단상모터의 적용시에는 역상보호가 불가능하므로 off 설정하여야 한다.

2.2.5 지락전류 보호

지락보호는 인명과 기기에 관련된 안전 상의 위험에 대한 보호로서 지락,누전전류의 크기를 판별하여 고장 회로를 차단하므로 보호계통에 따라 감도전류를 다르게 설정하여야 한다. 지락전류가 설정치 이상되면 0.1초 이내에 릴레이를 구동시키고 지락상태를 표시한다. 지락 설정은 보호대상이나 목적에 따라 표준 설정 (100~3000mA)과 고감도 설정(30~3000mA)으로 구분되어 사용된다. (계전기정정 : 최대지락전류의 30%)

표 1. Motor 제어지 설정표전원전압
Table. 1. Motor Controller Setting Table

기능명	설정치	기본값		설정범위	
		단위	범위	단위	범위
과전류 보호	1.5	%	1.5 ~ 250	%	1.5 ~ 250
구속 보호	150	%	150 ~ 9600	%	150 ~ 9600
부족전류 보호	20	%	20 ~ 80	%	20 ~ 80
결상 보호	70	%	70 ~ 100	%	70 ~ 100
불평형 보호	70	%	70 ~ 100	%	70 ~ 100
부족전압 보호	85	%	85 ~ 100	%	85 ~ 100
역상 보호	ON		ON / OFF		ON / OFF
지락 보호	100	mA	100 ~ 3000	mA	100 ~ 3000
지락 고감도 보호	30	mA	30 ~ 3000	mA	30 ~ 3000

2.2.6 순시 정전 재기동

전자식 과부하 계전기는 순간적인 정전이 발생하였을 때 모든 모터가 정지되고 복전 후 다시 기동시키기 위

해서는 직접 현장을 방문하여 각 모터를 재투입시켜야 한다. 20초 이내의 순시정전에 대해 복전 후 정전 이전의 상태로 계속 운전하기 위한 편리한 기능을 가지고 있다. 설정시간은 1~20초까지 설정가능 하다.

2.2.7 순시 정전시 재기동 지연시간 설정

순간 정전 후 동시에 재기동하게 된다면 모터의 기동 전류 과다로 변압기에 무리가 발생되므로 이를 방지하기 위해 순차적으로 모터를 기동하도록 기동시간 설정을 하여 사용한다. 재기동 지연시간을 1~500초까지 설정할 수 있다.

2.2.8 기동방법 설정

직입기동, Y-기동, 가역기동, 리액터 기동을 선택하여 설정 할 수 있다. 이 기능 사용은 MCC 내부 회로를 간소화하여 MCC내 적용 공간을 줄여서 설치 및 유지보수를 용이하게 할 수 있다.[3]

가. 직입기동

5(KW)이하의 적은 용량의 유도전동기는 정격전압을 가하면 전부하전류의 400~600%의 기동전류가 흐른다. 용량이 적기 때문에 전류의 값도 적고 배전계통에 대한 영향도 적다.

나. Y-Δ기동

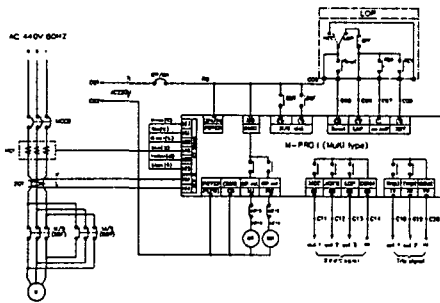


그림 5. Y-Δ기동용 Sequence
Fig. 5. Swquence for Y-Δ Start

그림 5은 디지털 모터 제어의 Y-Δ기동용 결선도이며 스위치를 기동측에 넣으면 Y로 결선되고, 각 상은 전 원전압의 $1/\sqrt{3} = 0.58$ 배의 전압을 받고 전류가 이것에 따라 감소한다. 전동기는 이 상태에서 가속하고 전속도에 도달한 후에 스위치를 운전측에다 닫으면, Δ결선이 되고 요구되는 토크를 발생할 수 있다. 일반적으로 이 방법에 의한 기동전류는 전부하전류의 150~200%, 기동토크는 전부하토크의 40~50%라고 생각하면 된다.

다. Reactor 기동

이 방법은 15(KW)이상의 전동기에 사용된다. 그림 6은 이 결선도이다. 처음에 스위치를 기동측에 넣으면 전원전압은 3상단권변압기 AT(auto-transformer)에 가하여 지고 저전압은 2차측인 전동기에 공급되고, 가속 후 운전측에 넣으면 전동기는 단권변압기에 관계없이 직접 전원전압을 받고 운전상태로 된다. ■은 적은 전 동기 용량에서는 1/3과 2/3의 두 점에서 내는 것이 보통 이다. 이 변압기는 기동시에만 사용하므로 단시간 정격을 사용한다.

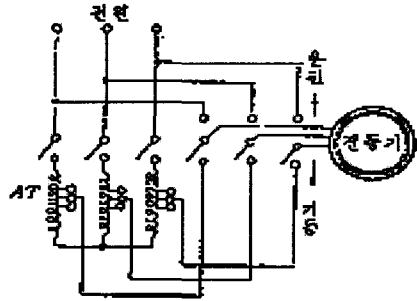


그림 6. 리액터 기동용 결선도
Fig. 6. Typical daigram for Motor start trough Reator

2.2.8 Y-기동/ 리액터 기동변환 시간 설정

Y-기동이나 리액터 기동시에는 별도로 타이머를 내장하여 기동 변환시간을 설정해 주어야 한다. 또한 Y-기동이나 리액터 기동을 위한 보조접점을 준비하여 간단히 연결하여 적용할 수 있다(설정범위 : 1 ~120 sec).

2.2.9 원격제어

현장운전, MCC운전,자동운전 및 통신을 통한 Remote 운전이 가능하여 다양한 모터의 운전 및 제어가 가능하다. 현장운전모드는 조작우선 순위가 가장 높은 경우에 적용하며 긴급사항 발생시 및 유지 보수시 사용된다. Remote기능은 원격리에서 모터 on/off 조작 및 제어가 가능하며 필요시 적용이 가능하다.

2.2.10 한시특성 (Time current characteristics)

국제규격의 IEC 한시 특성을 적용한 과전류 보호기능으로 1~60초까지 설정할 수 있다. Class1에서 Class60 까지 사용자가 모터의 운전 특성에 따라 다양한 시간을 선택할 수 있다. 모터의 과부하 보호기능은 모터에 흐르는 전류를 측정하여 모터의 열상태를 계산하여 모터 과열을 방지하는 보호 기능이다.

2.2.11 자기진단기능

내부 Memory 이상 및 통신 이상등을 자동 진단하는 Self diagnostic 기능을 갖고 있으며 또한 모터 기동 및 정지시 접자 접촉기의 상태를 감시하여 표시한다. 첨언하여 디지털 모터 제어장치의 장점은 Trip이 발생되면 사고의 원인을 표시창으로 바로 확인하여 신속한 조치가 가능하며 또한 기록 저장되어 분석이 가능하다는 것이다.

3. 디지털 모터 제어장치를 사용한 모터 기동 결과

주조공장의 Electric arc furnace에 적용되는 440V, 3 Phase, 22KW, 38.4A의 농형 유도 전동기를 사용하여 시험한 것으로 여건상 몇 가지만 소개하겠다.

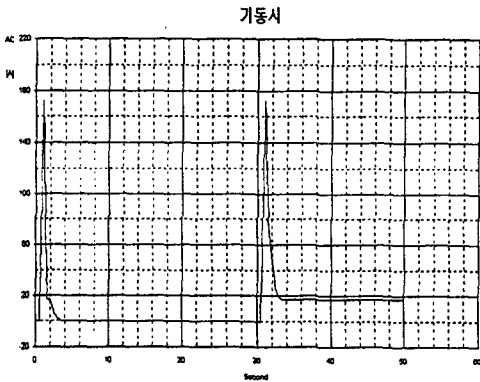


그림 7. 모터 기동 곡선
Fig. 7. Motor Start Curve

그림7은 모터의 기동곡성을 나타낸 것으로 부하율 500% 일때 차단시간 1초로 선정하고 정상 기동한 곡선이다.

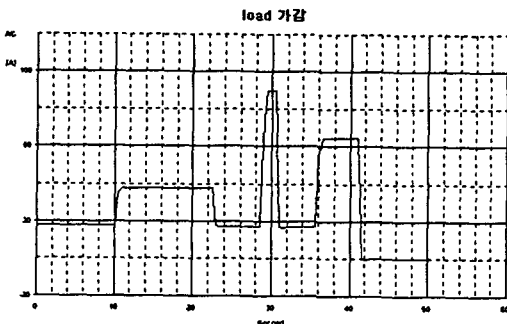


그림 8. 부하 증감시 곡선
Fig. 8. The curve at load Increase/Decrease

그림8은 부하를 구속하는 방법으로 부하를 증감하였을때의 부하증감 및 과부하 Trip 상태를 나타낸 곡선이다.

운전 중 과부하 1.5배 이상 5초 지속시 Trip 상태를 나타 낸다.

(운전 중 과부하 1.5이상일때 5초 후 Trip, 정한시 특성)

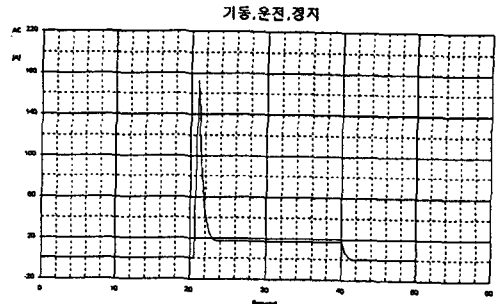


그림 9. 기동,운전,정지시 곡선
Fig. 9. The curve at motor start, run and stop

그림9는 초기 상태에서 기동 후 정상 운전 상태 표시 및 정상 정지시의 Curve를 보인다.

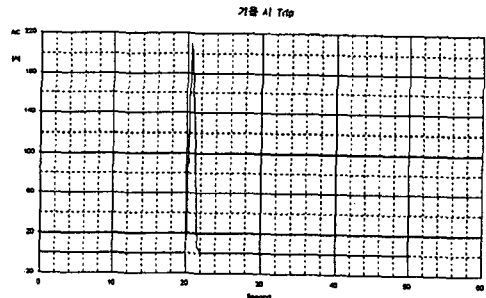


그림 10. 기동시 트립 곡선
Fig. 10. Trip curve at Motor start

그림10은 모터의 기동곡성을 나타낸 것으로 부하율 500% 일때 차단시간 0.2초로 선정하고 정상 기동한 곡선이다.

4. 결 론

모터의 과전류 차단을 디지털 방식으로 수행하는 주변의 소자들을 일체화 시켜 설치 및 유지보수에 소요되는 시간을 단축하며 적은 비용으로 제작이 가능하도록 하는 일체형 디지털 모터 제어장치를 제공한다. 이를

위해 과전류의 검출을 통한 전원의 차단 제어를 위한 다수의 모듈 소자를 갖춘 모터 제어장치에 있어서 다수의 모듈소자를 일체화된 형태로 실장한 모듈기판과 전원 차단반, Sensing부등을 일체형으로 제작한 것을 특징으로 한다.

2년간에 걸친 연구개발과 1차 실증결과를 기술한 것으로 신뢰성 있는 모터 보호와 제어기능 그리고 Parameter 값의 유연한 설정등에 역점을 두었으며 모터 컨트롤 센터의 Space 축소와 Compact한 설계를 통한 경제적 효과도 매우 크다고 할 수 있다.

지금까지의 모터보호 개념은 고장발생 직전에 모터 공급 전원을 차단시켜 보호하는 개념이었지만 앞으로는 모터의 고장원인을 사전에 파악하여 급작스런 공정정지를 방지하여 공정 손실을 최소화하는 예방 논리로 변화해야 할 것이다.

또한 다양한 공정 특성에 적용할 수 있는 다양한 보호 특성과 기동특성을 갖는 모터 제어기가 필요하며 특히 인터넷을 통한 On line monitoring 및 control 이 가능한 system과 network과의 연계된 기능과 SW를 개발해야 한다.

참 고 문 헌

- (1) 공장배전전문위원회 “電動機보호”, 工場配電, p.163~, 172, 1985, 6.
- (2) IEEE standard 141-1993, “5.3 Protective devices and their application” IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution Par.5.3, pp.193~266, 1993.
- (3) 김정철, “12-1 전동기 보호” 自家用電氣設備의 모든것 Para.12-1, pp.340~370, 1995.
- (4) 윤귀중, “Intelligent Motor Controller 개발동향” 계장기술, pp.99~105, 2003.