

工場電氣의 最新技術

最近의 可變速 시스템 (1)

可變速 시스템은 電力用 半導體素子の 발달, 마이크로엘렉트로닉스, 마이크로프로세서의 應用에 의한 制御의 高度化 등으로 지난 수년 사이에 크게 진보되었다. 여기서는 최근의 可變速 시스템의 動向에 대하여 설명한다.

1. 概要

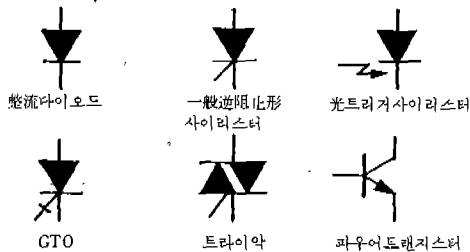
여기서는 電力用 半導體素子の 종류와 電動機의 可變速制御 시스템의 종류에 대하여 설명한다.

(1) 電力用 半導體素子

종류를 표 1에 들었고 回路記號를 그림 1에 들었다.

(1) 轉流 턴오프 사이리스터

일단 導通되면 사이리스터에 흐르는 電流가 維持 電流 이하가 되지 않으면 阻止(非導通)狀態가 되지 않는다. 즉 게이트信號로는 阻止狀態로 할 수는 없다. 光트리거形은 光信號에 의하여 트리거된다. 逆導通形은 한장의 우에하 중에 사이리스터와 다이오드를 逆並列로 접속한 구조로 되어 있으며 逆方向은 항상 導通되어 있다. GATT(Gate Assisted



〈그림-1〉 電力用 半導體素子の 回路記號

Turn off Thyristor), 즉 게이트補助 턴오프사이리스터는 高速動作化를 목적으로 한 것으로 턴오프時 間을 단축하기 위해 특수구조로 되어 있다.

(2) 自己消弧形 사이리스터

게이트信號에 의하여 導通, 非導通(阻止)을 자유롭게 콘트롤할 수 있는 사이리스터이다. GTO(게이트 턴오프사이리스터)는 게이트에 正負의 信號를 印加함으로써 導通, 阻止狀態가 가능한 素子이다.

SI사이리스터(Static Induction Thyristor), 즉 靜電誘導사이리스터는 근래에 개발된 素子로서 高速性이 특징이다.

(3) 트라이악

어느 極性에서도 正負의 게이트信號로 導通된다.

(4) 파워트랜지스터

일반 전력용에서는 케이스構造로 인하여 平形과 모듈形이 있다. 모듈에는 1개조, 2개조, 4개조(單相브리지), 6개조(3相브리지) 등이 있다. MOS FET形 파워트랜지스터는 디지털LSI의 主要素子인 MOS FET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)를 高耐壓, 大電流化한 것이다.

SIT는 Static Induction Transistor(靜電誘導트랜지스터)이다. MOS FET, SIT 모두가 高速性이 있는 새로운 파워素子로서 주목되고 있다.

〈표-1〉 電力用半導体素子の 種類

種 類		最 大 定 格	스위칭時間	動作周波數	
整流다이오드	一 般 用	3,000V, 3,500A			
	高 速 用	3,000V, 1,000A	數 μ s	數 10kHz	
轉流턴오프 사이리스터	一 般 逆 阻 止 形	4,000V, 3,000A	400 μ s		
	光 트 리 거 形	4,000V, 1,500A	200~400 μ s		
		8,000V, 1,200A			
	高 速 逆 阻 止 形	1,200V, 1,500A	20 μ s	5 kHz	
		2,500V, 1,000A			
逆 導 通 形	2,500V, 順 1,000A, 逆 400A	40 μ s			
自己消弧形 사이리스터	G A T T	1,200V, 400A	8 μ s	10kHz	
	G T O	4,500V, 3,000A	25 μ s		
	S I 사 이 리 스테	4,000V, 2,200A	6.5 μ s		
트 라 이 악		1,200V, 500A			
파우어트랜지스터	一般電力用	모 들 形	1,200V, 300A	2~40 μ s	數k~100kHz
		平 形	1,000V, 400A		
	高 速 用	MOS FET	450V, 50A	0.7 μ s	100kHz
		SIT	800V, 60A	0.5 μ s	數百 kHz

(2) 電動機의 可變速制御시스템

그림 2는 電動機의 可變速시스템을 分類한 것이다.

(1) 레오나드시스템

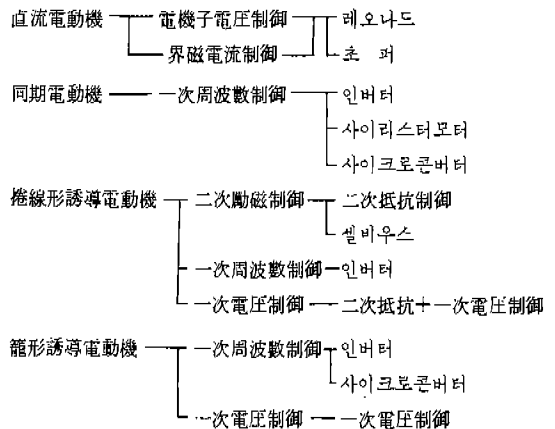
直流機의 回轉數가 電機子電壓에 比例하는 것을 이용한 것으로 商用 周波電源에서 콘버터(整流器)에 의하여 可變直流電源을 만들어 電機子에 印加하여 속도를 制御한다.

(2) 초퍼시스템

배터리 등의 定電壓 直流電源의 電壓을 半導体素子の 스위칭作用으로 펄스狀으로 재단하여 等價可變電壓을 만들어 直流機의 電機子에 印加하여 速度를 制御한다.

(3) 인버터시스템

交流機의 回轉數는 電源周波數에 비례한다. 인버터란 直流를 交流로 變換하는 장치이다. 交流可變速用 인버터시스템의 구성은 콘버터와 인버터에 의하여 交流(商用周波數)→直流→交流(可變電壓 可變周波數)의 變換을 하여 電動機에 印加함으로써 速度制御를 한다. 電壓은 定토크特性을 유지하기 위해 電壓/周波數=一定한 관계가 유지된다. 통칭 VVVF라고도 한다.



〈그림-2〉 電動機의 可變速驅動시스템

(4) 사이크로콘버터시스템

周波數를 變化시킴으로써 速度制御를 한다. 사이크로콘버터란 交流電源에서 직접 周波數가 다른 交流電源을 얻는 장치이다.

(5) 사이리스터모터

直流機의 整流子和 브러시의 機能을 回轉子の 位置를 檢出하는 位置檢出器와 사이리스터의 스위칭作用으로 내치한 同期機의 驅動시스템이다. 또한 無整流子電動機라고도 한다.

(6) 셀비우스시스템

捲線形誘導電動機의 2次出力을 인버터 또는 사이크론변터에 의하여 다시 電源周波數로 변환하여 電源으로 회생시키는 시스템이다. 回生電力量을 變化시킴으로써 電動機의 速度를 제어할 수 있다. 그림 3에 시스템의 개요를 들었다.

2. 電力用 半導體素子の 발달

可變速制御시스템의 역사는 1957年의 사이리스터의 商品化로부터 시작된다. 이후의 역사는 표 2와 같다.

사이리스터는 그 개발 이후 高耐壓, 大電流化가 추진되어 왔다. 또한 1973年의 에너지危機에 의하여 資源節約, 에너지節約의 視點에서 電力交換裝置의 분야에서 高効率化, 小形 輕量化가 요청되기에 이르렀다. 資源節約, 에너지節約은 可變速 制御分野에서 새로운 수요를 야기시킨 것은 물론이다. 이와 같은 社會的 要請과 사이리스터設計技術의 발달, 半導體 製造프로세스의 발달로 電力用 半導體素子는 눈부신 발달을 이룩했다. 다음에 主要内容에 대하여 든다.

(1) 轉流턴오프사이리스터

① 高耐壓, 大電流化: 최근에는 일단락되고 있으며 4000V, 3000A가 최대 정격이다.

② 高速動作化: 高速動作化란 턴오프時間을 짧게 하는 것을 말한다. 高速動作化로 轉流余裕角의 低減, 高周波動作化, 또한 轉流回路의 캐퍼시턴스, 인

덕턴스의 小容量化에 의하여 裝置가 小形 輕量, 低損失로 된다. 이 목적에 대하여 高速逆阻止形, 逆導通形, GATT 등의 素子가 개발되어 있다.

③ 光트리거사이리스터: 主回路와 制御回路의 사이의 電氣絶緣性, 耐雜音性이 우수하며 制御시스템의 대폭적인 簡素化나 裝置 전체의 小形化를 기대할 수 있다. 光트리거사이리스터는 1975年頃부터 연구, 개발이 시작되어 1980年에는 4KV, 1,500A의 것이 개발되었고 최근에는 8KV, 1,200A의 것이 개발되고 있다.

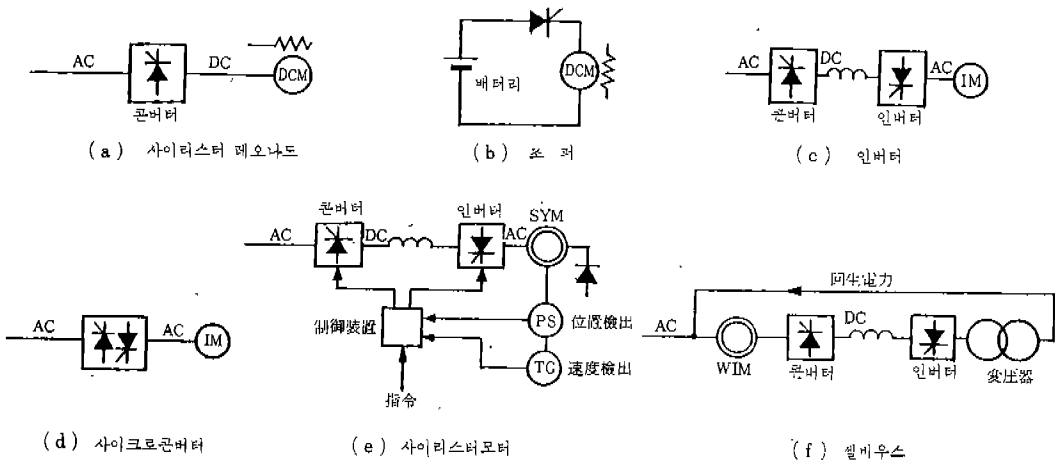
(2) 自己消弧形 사이리스터

게이트턴오프사이리스터(GTO)는 電流의 自己遮斷機能이 있다. 스위칭이 빠르다. 상당한 大電力을 供給할 수 있다는 등의 특징을 가지고 있으며 通常의 사이리스터를 사용한 裝置에 필요한 轉流回路가 필요치 않다. 따라서 GTO를 사용한 裝置에서는 回路構成이 간단해져 裝置의 小形, 輕量化, 低騒音化 高効率化, 高信賴性化를 실현할 수 있다.

GTO의 主要開發課題는 大電力化였는데 1975年에 600V, 200A의 素子가 출현한 이후로는 大電力化가 점차 추진되어 지금은 4,500V, 3000A로 一般逆阻止形에 필적하는 素子가 제작되고 있다.

(3) 파워트랜지스터

파워트랜지스터의 定義는 일정하지가 않다. 最大許容コレクター電流, 接合部케이스間의 熱抵抗, 收納케이스의 크기 등으로 制御用 트랜지스터와 구별하고 있다. 보통 靜止電力變換에 사용되는 파워트랜지스터는 最大容量コレクター電流 10A 이상 收納 케



〈그림-3〉 시스템의 概要

〈표-2〉 일본의 可變速制御시스템의 歷史

[年]	電力用半導体素子	可變速制御시스템
1955	● 사이리스터의 商品化 (數百V, 10A)	
1960		● 실리콘整流器 ● 사이리스터레오나드
1965		● 초퍼制御電車
1970	● 逆導通사이리스터 (1300V, 400A/150A) ● 파워트랜지스터 (140V, 250A) ● GATT (1200V, 400A)	● 汎用인버터 (纖維工業등) ● 送風機用사이리스터
1975	● GTO (600V, 200A)	● 送風機用大容量인버터 (1,600kVA)
1980	● 光트리거사이리스터 (4,000V, 1,500A)	● 壓延機用 사이리스터모터 (1,950kW) ● 壓延機用사이크로콘버터 (1,800kWIM) ● 本格的트랜지스터인버터 ● 디지털사이리스터레오나드
81		● 全交流프로세스라인
82		● 인버터電車
83		● 크레인인버터화 ● 인버터엘리베이터
84		
85		

이스 TO-220 이상의 것으로 생각하면 된다.

파워트랜지스터는 다음과 같은 특징이 있다.

① 自己消弧素子이며 轉流回路가 不必要하다.

② 스위칭 시간이 사이리스터나 GTO에 비하여 훨씬 빠르다.

③ 低損失이다.

④ 短絡保護가 용이하다.

⑤ 값이 싸다.

따라서 파워트랜지스터를 사용한 裝置는 사이리스터를 사용한 장치에 비하여 小形, 輕量, 低損失, 高性能, 低價格이다. 그러나 사이리스터에 비하여 靜止電力變換裝置에의 적용이 늦어진 것은 그 低耐壓, 低電流 때문이었다.

대부분의 靜止電力變換裝置는 電壓이 數10~數100V, 容量이 數KVA~數100KVA이며 거기에 사용되는 파워트랜지스터로서는 數100~1000V級이 필요하다 파워트랜지스터의 高耐壓, 大電流化의 歷史를 보면 1971년에 140V, 250A, 1975년에 500V 200A의 素子가 出現하고 있다. 그후 高耐壓化는 數100V로 停滯되었는데 數年前부터 1000V級의 트랜지스터가 各社에서 계속적으로 製品化가 되어 표 1과 같이 현재의 最大定格은 모듈形式으로 1,200V, 300A이다.

(4) 新素子

新素子로서는 MOS·FET, SI트랜지스터, SI사이리스터가 주목되고 있다. 모두가 自己消弧形素子이며 스위칭 시간이 극히 짧은 것이 特色이다. MOS FET는 디지털 LSI의 主要素子로서 유명하며 그것을 高耐壓, 大電流化한 것이며 1975年頃 최초의 產品이 탄생되었다. 高速動作과 과과내력이 큰 것이 特色이다. SI트랜지스터 (靜電誘導트랜지스터) SI사이리스터 (靜電誘導사이리스터)는 高速動作素子이며 高周波電力變換裝置에의 응용이 주목된다.

3. 可變速制御시스템의 발달

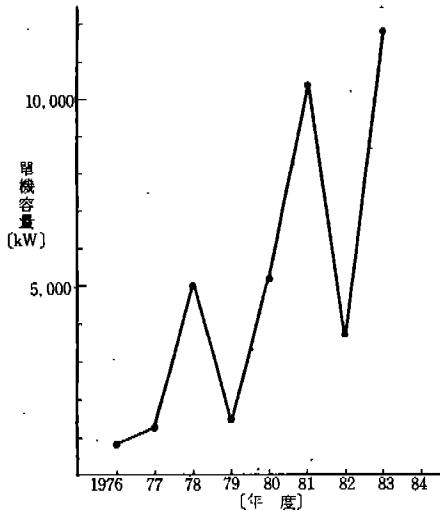
(1) 概要

可變速制御시스템은 電力用 半導体素子의 발달, 마 이컴의 보급에 의한 制御의 高度化, 冷却技術, 生産技術의 向上 등에 의하여 지난 수년 사이에 크게 발달하였다. 표 2와 같이 可變速制御시스템의 歷史를 보면 大容量化, 小形, 輕量化, 低損失化, 高性能化, 多機種化의 경향이 보이고 있다.

(1) 大容量化

素子가 大容量化됨에 따라 可變速制御裝置가 大容量化되는 것은 當然하다. 現저한 예가 GTO 인버

터와 트랜지스터인버터에서 볼 수 있다. GTO인버터는 1976년에 18KVA가 試作되었는데 1981년에는 610KVA, 1982년에는 1,200KVA로 大容量化되어 지금은 數 1,000KVA까지 製作이 가능하다. 트랜지스터인버터는 1980년경에는 60KVA(電動機容量 400V, 45KW)가 한도였는데 지금은 最大容量은 300 KVA(電動機容量 400V, 225KW)이다. 그림 4는 사이리스터모터의 納入最大容量의 推移이다.



〈그림-4〉 사이리스터모터의 納入最大容量 推移 (始動用除外)

(2) 小形, 輕量化

素子の 大容量化, 自己消弧形 素子の 발달, 制御 回路의 디지털化 등에 의하여 小形 輕量化가 발달 되었다.

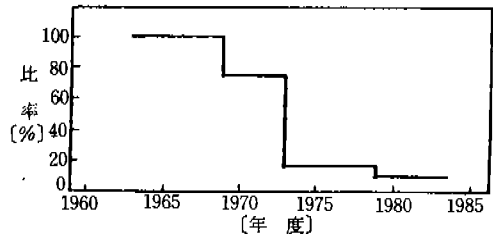
그림 5는 사이리스터레오나드시스템의 盤치수의 推移이다. 사이리스터素子の 高圧大容量化 IC, L SI, 마이크로프로세서 등의 高度集積部品の 사용, 유닛化, 빌딩블록式의 實裝技術 등에 의하여 KVA 당의 容積은 1965年을 100으로 하면 현재는 10정도로 되어 있다.

GTO나 파워트랜지스터와 같은 自己消弧形 素子를 사용하면 轉流回路가 필요치 않으므로 回路가 콤팩트하게 된다. 그림 6은 出力容量 33KVA(適用 電動機 22KW 상당)의 경우를 비교한 것이다.

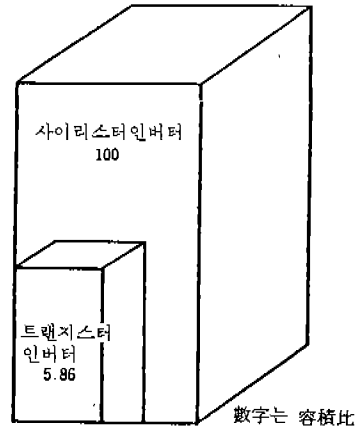
(3) 低損失化

그림 7에 低損失化의 要因을 들었다.

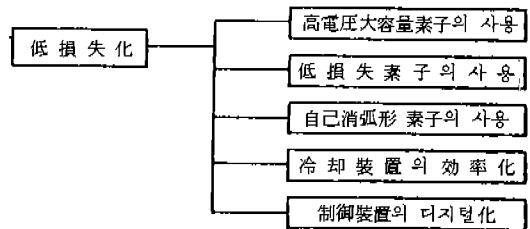
(4) 高性能化



〈그림-5〉 사이리스터레오나드시스템의 容積의 推移



〈그림-6〉 汎用인버터의 容積比較 (33kVA 상당품)



〈그림-7〉 低損失化의 要因

(a) 直流機

마이크로프로세서가 발명된 것은 1971年인데 그 이후 마이크로컴퓨터의 技術의 발달은 눈부셨고 生産工場에서 사용하는 制御裝置는 대부분이 디지털化가 되었다. 그러나 可變速驅動시스템은 디지털化가 지연되고 있었다.

아날로그制御와 디지털制御를 비교하면 표 3과 같으며 분명히 디지털制御가 우수하다. 그럼에도 불구하고 1981年까지 디지털化가 실현되지 않은 것은 경제성과 應答性의 면에서 아날로그制御보다 뒤떨

〈표-3〉 아날로그制御와 디지털制御의 特徵比較

項目		方式	
		아날로그 制御	디지탈 制御
精 度	改善에 대한 容易性	△	◎
	드리프트에 대한 영향	×	◎
	溫度, 電壓變化 經 年 變 化	×	◎
應 答 性		○	○
保 護 機 能		△	○
擴 張 性	(1) 機 能	△	○
	(2) 設備의 自動化	△	○
保 守 性	(1) 故 障 診 斷	×	◎
	(2) 監 視	△	◎
經 濟 性		○	○

(注) ◎ : 우수, ○ : 좋다, △ : 약간 떨어진다, × : 떨어진다

어져 있었기 때문이다. 그러나 高速이고 저렴한 16 비트 마이크로프로세서의 出現은 可變速制御시스템의 全디지털化를 可能케 하여 1981년에 全디지털사 이리스터레오나드裝置가 實用化되었다. 아날로그制御方式은 定格速度에서의 速度精度는 0.1%, 精度가 좋은 可變速範圍는 1 : 20 정도였는데 全 디지털式은 定格速度時 精度 0.01%, 1% 速度時 精度 1% 可變速範圍 1 : 100이 가능하다.

(b) 交流機

交流可變速시스템의 性能向上은 直流機수준의 성능을 실현하는 것을 목표로 해왔다. 直流機의 경우 速度 및 토크는

$$N = K_1 \frac{V - I_a R_a}{\phi}$$

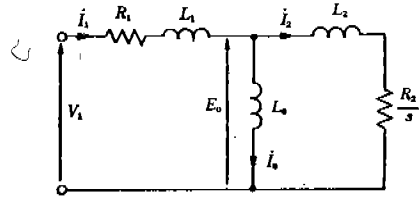
$$T = K_2 \phi I_a$$

가 된다. 단 N : 回轉數, V : 端子電壓, I_a : 電機子 電流, R_a : 電機子 抵抗, T : 토크, ϕ : 界磁磁束, K_1 , K_2 : 比例定數이며 또한 ϕ 는 勵磁電流 I_f 에 비례하 므로 速度 및 토크는 V , I_a , I_f 를 制御함으로써 용 이하게 높은 精度로 제어할 수 있다.

〈표-4〉 可變速制御시스템의 性能例(高性能機種)

性 能	裝 置	사이리스터레오나드 誘導電動機	사이클론버터 誘導電動機	사이리스터모터	사이리스터 인버터	트랜지스터 인버터
速度制御精度 [%]		±0.01	±0.01	±0.01	±0.01	±0.5
速度應答 ω_c [rad/s]		30	30	30	30	30
速度制御範圍		1 : 100	1 : 100	1 : 20	1 : 100	1 : 100

그러나 誘導電動機의 경우에는 그렇지는 되지 않는다. 그림 8은 等價回路이다. 여기서 V_1 : 端子電壓, E_0 : 勵磁電壓, I_1 : 1次電流, I_0 : 勵磁電流, I_2 : 2次電流, R_1, R_2 : 1次, 2次低抗, L_1, L_2 : 1次, 2次리액턴스, L_0 : 勵磁리액턴스, s : 슬립이다.



〈그림-8〉 3相誘導電動機의 1相當의 等價回路

速度 및 토크는

$$N = K_3 f (1 - s)$$

$$T = K_4 I_0 I_2$$

로 얻을 수 있다. K_3, K_4 는 比例定數이다. 또한 關 係式으로서

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2, \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_0}{\frac{R_2}{s} + j_2 \pi f L_2}$$

$$\dot{E}_0 = 2 \pi f L_0 \dot{I}_0$$

가 있다. 速度 및 토크를 制御하려면 f, s, I_0, I_2 를 制御해야 된다. 더구나 이것은 外部에서 檢出이 不可能하다. 실제로 檢출할 수 있는 것은 I_1, V_1, N 뿐이다. 이들의 檢出可能要素에서 벡터적으로 演算하여 速度 및 토크를 制御하지 않으면 高精度의 制御는 불가능하다.

交流機의 制御性能 向上에 대하여 벡터制御가 1975년경부터 연구되어 왔다. 마이크로엘렉트로닉스 마이크로프로세서의 발달은 벡터制御의 복잡한 制御系의 하드화에 크게 공헌하여 벡터制御의 이론적 인 진보와 함께 지금은 直流機 수준 및 그 이상의 性能이 있는 交流可變速시스템의 제작이 가능하게 되었다. 표 4는 그 예이다.

여기서 速度制御精度는 定格速度時の 것을 표시한다. 速度應答 ω_c 란 이른바 交差角周波數라고 하는 것으로 周波數 $f_c = \omega_c / 2\pi$ [Hz]가 되며 速度가 변동했을 경우 制御系가 추종할 수 있는 周波數의 限界(最大值)를 표시하는 것으로 생각하면 된다. 壓延機 등 高速應答을 필요로 하는 것으로 30rad/s가 필요하다고 한다.

(5) 多機種化

可變速制御를 필요로 하는 용도는 매우 많다. 최근에는 이들의 요구에 最的의 機種을 선정할 수 있

〈표-5〉인버터의 分類

分 類	種 類
用 途 別	汎用, 精密制御用
使用半導体素子	사이리스터, GTO, 트랜지스터
基 本 原 理	電圧形, 電流形, PWM
制 御 方 式	PAM, PWM, 벡터制御

도록 種類가 풍부하게 되어 있다. 표 5는 인버터의 예이다. *

* 送年詩 *

乙丑年의 離別

編世人 張世元

내 여기 乙丑年의 마지막장을 적는다.
이 해는 창가에 저물고
저 멀리 떠나려 하는가.
나는 다시 이 땅 위에서
또다시 만나지 못할 것이니.

人生的 향기여
會誌의 마지막장이여
그리고…… 그리고
그대 내가 그대를 소중히 하는 것을
가슴에 파고 간직할 것을

푸르른 숙원은 마음에 남아 있고
희망은 흘러 허공에 맴 돌기만 하는데,
여기 한번 서로 나뉘어 지면
나의 마음 萬里길 지향도 없으리
떠나는 저 해는 그대의 마음인가
지는 이 해는 보내는 내 情인가.
슬래 슬래 손을 휘저으면
그대는 멀리 멀리 떠날 것을
쏟아내라. 除夜의 종 소리도.

(1985. 12. 1)

불국사 토암산