

## APT 외등 및 비상등 전원 공급등 태양광 시스템에 관한 연구

### A Study on the Photovoltaic System of power supply for Outdoor and emergency lamp at APT

○ 박종복<sup>\*</sup> 임종열<sup>\*\*</sup> 차인수<sup>\*\*\*</sup> 정명웅<sup>\*\*\*\*</sup> 이만근<sup>\*\*\*\*</sup>

○ Jong-Bock Park<sup>\*</sup> Jung-Yeol Lim<sup>\*\*</sup> In-Su Cha<sup>\*\*\*</sup> Myung-Wung Jung<sup>\*\*\*\*</sup> Man-Geun Lee<sup>\*\*\*\*</sup>

\* 동신대학교 대학원 전기전자공학과

\*\* 동신대학교 전기전자공학과

\*\*\* 한국에너지 기술연구소 태양광팀 선임연구원

\*\*\*\* 한국에너지 기술연구소 실용화팀 책임연구원

\* Dept. of Electrical & Electronic Eng. Graduate School of Dongshin Univ.

\*\* Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Univ.

\*\*\* Term of Photovoltaic, KIER

\*\*\*\* Term of Application, KIER

#### Abstract

The objective of the research project is the practical application of solar lighting system to apartment. This system is composed of solar cell, battery system, inverter, and a grid-connected circuit. This experimental results are recognized to us that the research results, which was developed but not applied, is able to improve the effect by expanding their utilization. We will utilize this system continuously as public relation.

#### 1. 서론

대체에너지원으로서 태양에너지는 공해 방지 등의 환경문제와 연계하여 이용가치가 부각되고 있으며 아양하고 효과적인 이용방안들이 요구되고 있다. 특히 우리나라는 에너지 부족자원의 부족으로 에너지의 해외 의존도가 90%를 상

회하고 있으며, 연간 에너지 총 소비량의 약 30%에 달하는 건물용 공조 에너지 소비량을 줄이기 위한 노력이 계속되어져 왔다. 건축물에 대한 에너지 절약적인 설계기준(1992년 건설부 고시 44호등) 및 시설기준의 강화 등 정책적인 노력과 함께 대체에너지 개발에 대한 관심이 고조되고 있다.

태양광 발전의 건물적용의 장점은 첫째, 태양광 발전은 연료가 필요 없고 배기가스, 폐기물도 없어 환경오염의 염려가 없으며 둘째, 시스템이 단순하기 때문에 고장의 염려가 없어 가장 신뢰성 있는 발전 시스템이고 셋째, 태양전지는 부하에 적합하게 용량을 자유자재로 설치할 수 있기 때문에 설치 용량의 제한을 받지 않아 시스템 이용 효율을 증진시킬 수 있는 장점을 내포하고 있다.

본 연구에서는 건물에 태양광 발전을 도입하기 위하여 건물에 태양전지를 설치하는 방법 및 설치시 장단점을 세부 분석하였으며, 태양광 건물의 설계시 주요 고려사항을 분석하였다. 그리고 태양광 발전 시스템이 채택되어 설치될

경우 시스템 구성 요소 중 가장 핵심인 전력 조절장치에 대하여, 또한 태양광 발전 시스템의 효율을 극대화시키기 위한 방안으로 전력조정 장치를 최대출력으로 추적할 수 있는 제어이론을 도입하여 시스템 구성을 할 예정이다.

## 2. 태양광 발전의 건물 적용 연구

### 2.1 태양전지의 건물설치 방법

과거 20년 동안 선진국을 중심으로 건축물에 대한 에너지 효율 측면에서는 상당한 개량을 기록하였으며 현재에는 실용화 단계에 이르고 있다. 그 중에서도 태양광을 건축물에 이용하는 경우에 있어서는 건축물의 효율을 향상시키고 함께 전기를 생산함으로써 건축기술측면에서 한 차원 기술을 향상시키고 있다. 태양광발전을 건물에 적용시키기 위해서는 태양전지판을 건축물에 부착을 시켜야 한다. 이러한 기술은 수직벽체 이용방법, 수직벽이용 톱니식 설치방법, 경사진 건물외벽 설치방식, 지붕위 설치방식 등 있으며 본 연구에서 적용된 방식은 그림 1의 지붕위 설치 방식으로서 가장 대표적이고 일반적인 사용방식으로 태양전지판을 일반 시판되는 불투명 태양 전지판을 설치하는 방식으로 앞, 뒤 열의 배치시 그림자의 영향으로 인한 효율 감소효과를 설계시 반영해 주면 된다. 이구조는 태양전지판 설치시 지붕 면에 접한 부위의 방수 문제에 신중을 기하면 된다.

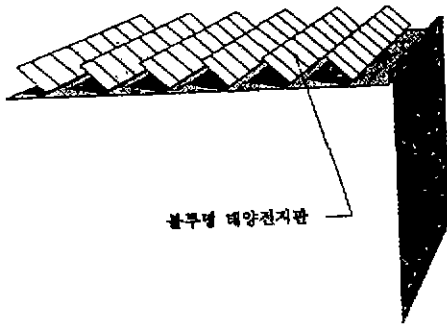


그림 1. 지붕 설치방식

### 2.2 태양광 건물의 설계 고려사항

태양광건물의 설계는 태양전지판을 최적방향과 각도로 설치하여 발전된 전기량을 최대화시키는 것이 일차적인 목표이나 이것은 건설비용, 최적건물면적, 채광제어, 열 성능 및 미관 등을 종합적으로 고려하여 건물설계에 반영을 시켜야 한다. 태양 전지판은 일반적으로 태양빛을 최대로 받기 위하여 지역의 위도에 해당되는 설치각으로 정남으로 설치하는 것이 원칙이며, 한편 건물의 벽체는 경제성, 효율 및 관습상의 이유로 수직으로 시공한다. 이와 태양광 건물에 대한 설계시 고려해야할 사항은 태양전지의 성능, PV차양, PV창문,미관,경제,기후적고려,기계적,전기적 고려사항, 유지관리, 안정성고려 사항 등이 있다.

## 3. 태양광 발전 이용기술의 개요

그림 2는 태양전지의 등가회로를 보여주고 있으며 이로부터 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

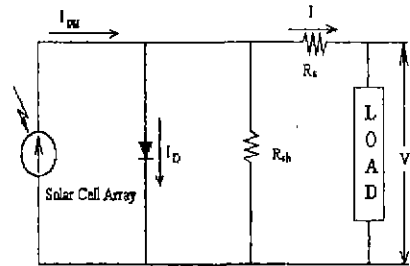


그림 2. 태양전지의 등가회로

$$\begin{aligned}
 I &= I_{ph} - I_0 \left[ \exp \left\{ \frac{qV}{nkT} \right\} - 1 \right] \\
 &= I_{ph} - I_0 \left[ \exp \left( \frac{q}{nkT} (V + R_s I) - 1 \right) \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}
 \end{aligned} \quad (1)$$

- $I_{ph}$  : 태양광 전류 [A]
- $I_0$  : 다이오드 포화 전류 [A]
- $n$  : 재료 계수
- $k$  : 프랑크 상수 [  $1.38 \times 10^{-23}$  J/K ]

- $T$  : 절대 온도 [K]
- $q$  : 전자 한개의 전하 {  $1.6 \times 10^{-23}$  C }
- $R_c$  : 직렬저항 [ $\Omega$ ]
- $R_{sh}$  : 분로 저항 [ $\Omega$ ]

여기서  $I$ 는 출력 전류,  $I_{ph}$ 는 광전류 이고 이를 전압 전류 특성곡선으로 나타내면 그림 4와 같이 된다.

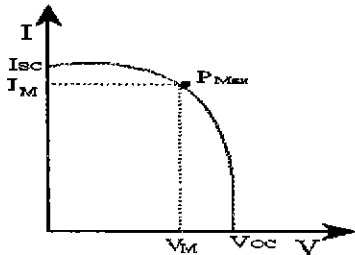


그림 3. 태양전지의 전압 전류 특성 곡선

#### 4. 태양광 발전 시스템 용량 산출기법

##### 4.1 태양전지의 용량산출

태양전지의 설비용량은 부하의 수요전력량을 계산하고 태양전지 Array가 발생하는 전력량이 부하의 필요 전력량을 공급하고 추가로 여유 전력량을 더한 값을 태양전지 Array의 설비용량으로 계산한다. 일반적으로 태양광 발전시스템의 에너지 관계식은

$$Q_A A Q_A \eta_{ps} K = E_L D R \quad (2)$$

여기서

- $Q_A$  : 태양전지 설치 경사면 일사강도
- $A$  : 태양전지의 Array면적
- $\eta_{ps}$  : 표준상태에 대한 태양전지 Array 변환효율
- $K$  : 종합 설계계수
- $E_L$  : 부하의수요 전력량
- $D$  : 부하의 태양광 발전 시스템에 대한 의존율

$R$  : 설계여유 계수

$$\eta_{ps} = P_{AS} / H_s A \quad (3)$$

$P_{AS}$  : 표준상태에 있어서 태양전지 어레이 출력(KW)

$H_s$  : 표준상태에 대한 일사강도( $1KW/m^2$ )

식(3)을 식(2)에 대입하면 태양 전지 어레이 용량은 다음과 같다.

$$P_{AS} = E_L D R / (Q_A / H_s K) \quad (4)$$

이들 식은 어느 시간동안의 평균적인 개념의 태양전지 어레이의 용량을 나타내는 수이므로 순간적인 개념에 대해서는 설계계수와 여유 계수에 의한 보정계수를 취해 주는 것이 일반적인 방식이다.

##### 4.2 축전지 용량산출

전력저장 장치인 축전장치는 태양전지에서 발생한 전력을 축전지에 저장시키고 인버터에 직류 전원을 공급함으로써 축전지의 정확한 설치용량의 산정법이 필요시된다. 특히 축전지의 용량과 특성에 따라서 다양하게 변화될 수 있으므로 연속전지의 특성이 시스템의 신뢰성에 중요한 요소가 된다. 축전지는 축전용량, 충전효율, 충전상태, 동작기능, 관리방법 등 5가지 특성으로 나뉜다.

$$WH = AH \times V \times BF \quad (5)$$

$WH$  : 사용 가능한 전력량(Watt Hour)

$AH$  : 전류-시간용량(Ampere-hour)

$V$  : 60%충전상태와 상온에서 축전지 평균 운영전압(2.0 Volt/Cell당)

$BF$  : 축전지 상수(방전심도를 50%, 축전지 충방전효율 85%를 감안하여 계산)

## 5. 태양광 발전용 전력조정장치의 종류

태양광 발전용 전력조정장치는 전압조정기와 전력조정 장치가 있으며 본 연구에서는 DC/DC Converter 방식을 사용하였다.

DC-DC 컨버터는 직류부하의 구동을 위하여 태양광발전 시스템에 사용하였다.

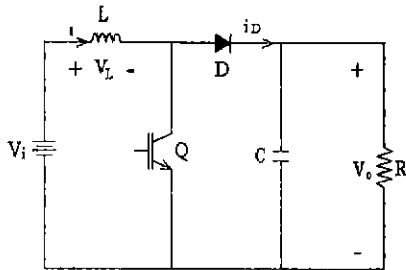
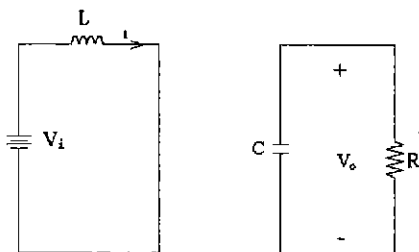


그림 4. DC-DC 컨버터의 기본적인 회로도

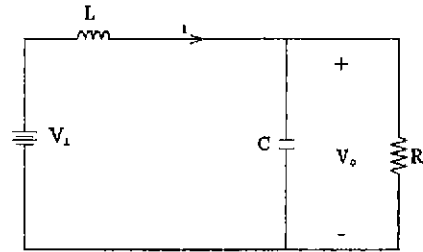
그림 5는 승압 컨버터의 기본적인 회로와 스위치(IGBT)의 온·오프에 따른 등가회로를 보여 주고 있다. 승압 컨버터는 일반적으로 배터리의 충전을 위하여 요구되어지는데, 스위치 다이오스 IGBT에 인가되는 스위칭 신호 K가 ON 일 때, 입력값은 인덕턴스에 충전된다.

$$V_i = L \cdot \frac{di_L}{dt} \quad (6)$$

$T_{ON}$  동안  $V_i$ 가 상수로 남아 있다고 가정하면 전류의 변화는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.



(-) Q가 ON일 때



(-) Q가 OFF일 때

그림 5. 승압 컨버터의 기본적인 회로와 스위치(IGBT)의 온·오프에 따른 등가회로

$$i_L(T_{ON}) - i_L(0) = \frac{V_i}{L} \cdot T_{ON} \quad (7)$$

$T_{ON}$  시간 동안 인덕턴스에는 에너지  $\frac{1}{2} \cdot L \cdot i_L^2(T_{ON})$ 가 저장된다. K가 OFF 일때, 인덕턴스는 다이오드를 통하여 부하에 그 에너지를 방전한다.

$$V_i - V_o = L \cdot \frac{di_L}{dt} \quad (8)$$

다시,  $T_{OFF}$  동안 충분히 단락되면  $V_i$  와  $V_o$ 는 일정하게 유지된다.

$$\begin{aligned} \frac{V_i}{L} \cdot T_{ON} &= \frac{V_i - V_o}{L} \cdot T_{OFF} \\ V_o &= \frac{T_{ON} + T_{OFF}}{T_{OFF}} \cdot V_i > V_i \end{aligned} \quad (9)$$

그러면, 주어진 주파수  $\frac{1}{T} = \frac{1}{(T_{ON} + T_{OFF})}$

에서 계속적인 조건의 제한된 적당한  $T_{ON}$ 은 부하전압  $V_o$ 에 의한 최대전력점전압  $V_m$ 에서  $V_i$ 를 적절하게 허용한다.

## 6. 전력 조절 장치 제어이론 고찰 및 확립

본 장에서는 전력장치의 개발에 앞서 태양전지판의 정격용량(Wp)에 따른 일사량 및 온도 변화에 따른 각종의 특성을 분석하여 전력조절 장치 제어 기법에 응용하였다

### 6.1 최대출력

태양광 발전시스템에서 태양전지 용량은 일사 조건  $1000W/m^2$  표면 온도  $25^{\circ}C$ 를 기준으로 표시되는 최대 출력 용량으로써 실제 이 태양 전지판을 이용할 경우, 일사량 및 온도조건을 함께 고려 한 특성을 살펴볼 필요가 있다.

$$P_m(t) = P_m Q [1 + \alpha(t-25)] \quad (10)$$

여기서

$P_m(t)$ : 동작 조건에서의 최대출력

$P_m$ : 정격출력(온도  $25^{\circ}C$ , 일사강도  $1 KW/m^2$ )

$Q$ : 동작조건에서의 일사강도( $KW/m^2$ )

$t$ : 동작조건에서의 태양전지 표면온도( $^{\circ}C$ )

$\alpha$ : 온도계수  $-0.005/^{\circ}C$

### 6.2 단락전류

온도와 일사량에 따른 단락전류 관계식은 다음과 같다.

$$I_{sc}(t) = I_{sc} Q [1 + \beta(t-25)] \quad (11)$$

여기서

$I_{sc}(t)$ : 동작 조건에서의 동작전류

$I_{sc}$ : 표준상태에서의 단락전류(온도  $25^{\circ}C$ , 일사 강도  $1 KW/m^2$ )

$Q$ : 동작조건에서의 일사 강도( $KW/m^2$ )

$t$ : 동작조건에서의 태양전지 표면온도( $^{\circ}C$ )

$\beta$ : 단락전류의 온도계수  $-0.005/^{\circ}C$

## 6.3 개방전압

온도와일사량에 따른 개방전압 관계식은

$$V_{oc}(t) = V_{oc}[1 - \gamma(t-25) - \delta(1-Q)] \quad (12)$$

여기서

$V_{oc}(t)$ : 동작 상태에서의 개방전압

$V_{oc}$ : 표준상태에서의 개방전압( $25^{\circ}C$ ,  $1KW/m^2$ )

$Q$ : 동작조건에서의 일사강도( $KW/m^2$ )

$\gamma$ : 개방전압의 온도계수( $-0.00377/^{\circ}C$ )

$\delta$ : 개방전압의 일사량계수  $[0.000475/(KW/m^2)$

## 6.4 최대출력시전압

태양전지 모듈의 온도와 일사량 변화에 따른 최대 출력을 나타내는 전압은 다음과 같다.

$$V_m(t) = V_m [1 - \gamma'(t-25) - \delta'(1-Q)] \quad (13)$$

여기서

$V_m(t)$ : 동작 조건에서의 최대출력시의 전압

$V_m$ : 표준조건에서의 최대출력시의 전압

$Q$ : 동작조건에서의 일사강도( $KW/m^2$ )

$\gamma'$ : 최대출력시 전압의 온도계수( $-0.00462/^{\circ}C$ )

$\delta'$ : 최대출력시 전압의 일사량수( $0.000094/(W/m^2)$ )

## 7. 태양전지 조명장치시스템구성 및 시뮬레이션

태양광 가로등은 태양전지를 이용하여 주간 에 생성된 전기를 내부 전력 조절 장치를 통하여 축전지에 저장하였다가 조명이 필요한 야간에 인버터 등의 제어를 통하여 조명등에 전력을 공급하는 시스템이다. 태양전지 외등 사용될 수 있는 각종 조명등을 <표1> 비교 분석한 결과 비교적 전력소비가 적고 단위당 광속이 큰 저압나트륨등 36W를 태양전지 외등용 조명등으로 선정하였다

< 표1 외등용 조명등 비교 >

종류	전력 소비량 (W)	광속 (lm)	비고
저압나트륨등 (55W)	55	7800	고휘도, 수입품, 안정기별도
저압나트륨등 (36W)	36	4550	
삼파장 형광등 (20W)	20	1200	국산품, 전력소모미소, 장수명(6000시간)
삼파장 형광등 (38W)	14	700	
삼파장 형광등 (38W)	36	2900	안정기 별도부착, 전력소모과다
기존 백열등 (100W)	100	-	

본 시스템의 구성요소는 그림6처럼 태양전지, 태양전지 전력조정기부(Converter), 인버터(Inverter), 램프, 축전지이며 태양전지전력조정기부의 효율은 90%이상으로, 과충전, 과방전 보호회로, 역전류 방지회로로서 구성된다. 또한 인버터는 파형왜율을 3%이하로 운전하며 20KHz ±5%이하에서 운전토록 하고져 한다.

본 연구에서는 조명부하만 태양광으로 100% 대체할 경우, 일사조건이 7일-15일 정도 계속 좋지 않을 경우에는 축전지의 과방전으로 인하여 전력을 공급할 수 없는 경우에 대비하여 시스템을 독립형과 계통연계형을 조합시킨 시스템으로 구성하고자 한다.

주간에 태양전지에서 발전된 직류전원을 정전압 제어회로에서 제어하여 전력 저장용인 축전지에 충전시키며, 태양전지 내부에는 필히 By-pass다이오드가 부착되어야 한다. 인버터부는 축전지 또는 정전압 회로에서 태양전지의 직류 전원을 공급받아서 양질의 교류 전원으로 변환하여 Lamp에 안정적으로 전원을 공급하는 시스템으로 구성하고 축전지 전압이 저전압이 발생되면 축전지 정류기를 통하여 축전지를 강제시킴과 동시에 Lamp에 지속적으로 전원을 공급토록한다.

본 논문에서 사용한 태양전지 모듈( 삼성전자 : SSM-60 )의 전기적 특성은 다음과 같다.

<표2 태양전지모듈 파라미터>

모듈명	SSM-60	
최대전력	60.0	[W]
개방전압	21.1	[V]
단락전류	3.8	[A]
부하전압	17.1	[V]
부하전류	3.5	[A]

<표3 축전기 충전기 파라미터>

상수	단상	정전류 용량	10 A-80A
주파수	60Hz	백동율	5%이하
입력장격 전압	AC 220V	입력전압 변동	AC 380V ± 10%
제어방식	Thyristor Bridge	효율	85%이상
출력전압 범위	DC 14.5V	정격용량	3KW

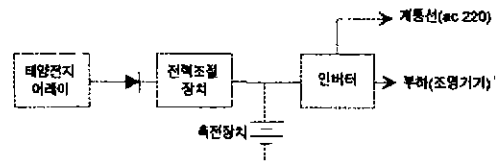


그림 6. 시스템구성도

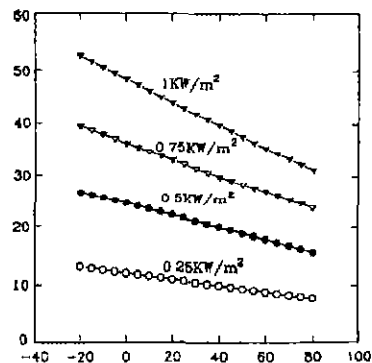


그림 7. 일사량, 온도변화에 따른 최대 출력

그림 7은 모듈의 표면 온도를  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서  $80^{\circ}\text{C}$ 까지 변화 시켰을 경우의 모듈의 최대 출력을 시뮬레이션한 결과이며 같은 일사조건하에서도 온도에 따라서 온도  $1^{\circ}\text{C}$ 증가함에 따라 출력이  $0.5\%$ 감소함을 볼 수 있다.

그림 8은 단락전류는 최대출력과는 반대로 온도상승에 따라서 미소하게 전류가 증가하고 일사량 변화에 대해서는 비례적으로 변화됨을 알 수 있다.

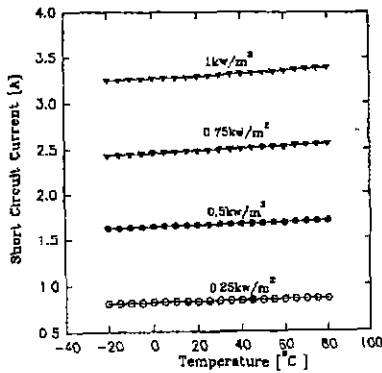


그림 8. 일사량, 온도변화에 따른 단락전류

그림 9는 온도의 증가에 따라 개방전압은 감소되고 일사량 감소에 따라서 약간의 변화 추세를 나타낸다.

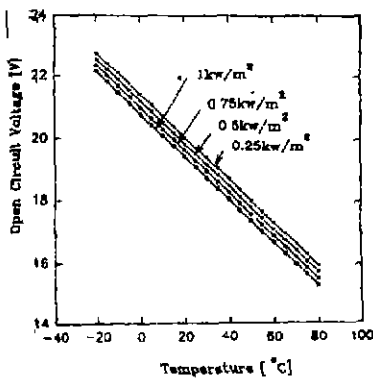


그림 9. 일사량 온도 변화에 따른 개방전압

그림10에서는 같은 최대 전력점 곡선이라도 온도 증가에 따른 일사량의 증가를 볼 수 있다.

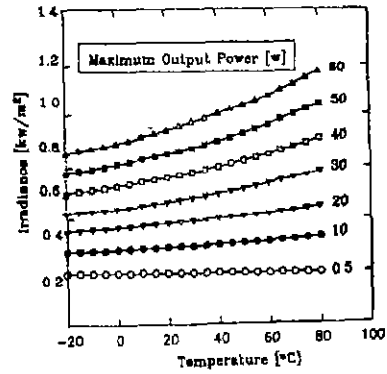


그림 10. 최대전력, 온도변화에 관계된 일사량

12[S]×2[P]시에 전류 전압,전력 곡선의 특성을 시뮬레이션하면 그림 11과 같이 나타난다. 이때 전력곡선은 동작전압 175.2 [volt]에서 최대 출력 특성을 보여주고 있다.

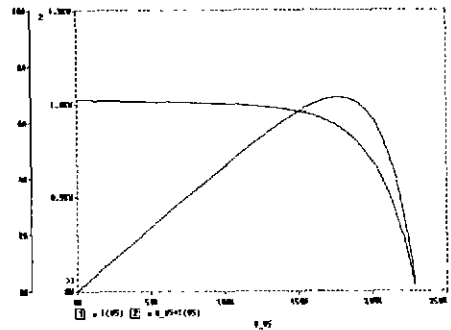


그림 11. PV Module의 전류 전압, 전력 곡선의 특성

## 8. 결론

본 연구는 태양에너지 이용기술을 이용한 APT 외등 및 복도에 사용되는 비상등 전원을 공급하기 위한 태양광시스템에 대한 제 특성을 검토하였는데 APT용 외등은 도로 설치하는 가로등에 비해서 청결한 장소와 파손의 위험이 적은 장점이 있고 계단 등에 적용하는 비상등의 전원은 큰전력을 소요치 않아서 이를 토대로한 시스템의 구성을 이루고져 한다.