

(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

|                            |           |             |
|----------------------------|-----------|-------------|
| (51) 。 Int. Cl.            | (45) 공고일자 | 2006년10월11일 |
| <i>H02P 6/18</i> (2006.01) | (11) 등록번호 | 10-0631340  |
| <i>H02P 6/00</i> (2006.01) | (24) 등록일자 | 2006년09월27일 |

(21) 출원번호 10-2005-0031496 (65) 공개번호  
(22) 출원일자 2005년04월15일 (43) 공개일자

|           |                                                                               |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| (73) 특허권자 | 고려대학교 산학협력단<br>서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내                                          |
| (72) 발명자  | 유지운<br>서울 강남구 대치동 쌍용아파트 9동 703호<br><br>강용진<br>서울 강서구 화곡5동 111-179 동광아트빌 B-401 |
| (74) 대리인  | 현중철                                                                           |

(56) 선행기술조사문헌  
JP11187691 A JP2002084777 A  
KR1020020068740 A  
\* 심사관에 의하여 인용된 문헌

심사관 : 백진욱

(54) 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법

## 요약

본 발명은, 브러시리스 직류 전동기의 역기전력이 제로가 되는 제로 크로싱 시점에 따라 상기 브러시리스 직류 전동기를 제어하는 방법으로서, 단계들 (a) 내지 (d)를 포함한다. 단계 (a)에서는, 브러시리스 직류 전동기가 구동된다. 단계 (b)에서는, 브러시리스 직류 전동기의 비여자상 전압( $V_a$ )이 일정한 비율로 변하는 직선의 1차 함수가 구해진다. 단계 (c)에서는, 상기 1차 함수가 사용되어, 브러시리스 직류 전동기의 비여자상 전압( $V_a$ )이 브러시리스 직류 전동기의 전원의 직류-링크 전압의 절반( $V_{dc}/2$ )과 같아지는 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )이 계산된다. 단계 (d)에서는, 계산된 상기 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )이 사용되어 제로 크로싱 시점이 판단되고, 판단된 제로 크로싱 시점에 따라 브러시리스 직류 전동기가 제어된다.

## 대표도

도 4

## 명세서

## 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 브러시리스 직류 전동기의 구동 장치를 보여주는 도면이다.

도 2는 도 1의 브러시리스 직류 전동기가 구동되는 경우에 a상 단자 전압의 파형을 보여주는 도면이다.

도 3은 a상이 비여자상이 되는 도 2의 BC 구간의 파형을 확대하여 보여주는 도면이다.

도 4는 도 3의 A 구간의 파형을 확대하여 보여주는 도면이다.

도 5는 본 실시예의 성능을 입증하기 위한 실험에서 얻어진 파형들을 보여주는 도면이다.

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은, 브러시리스 직류 전동기(brushless DC motor)의 제어 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 브러시리스 직류 전동기의 역기전력이 제로가 되는 제로 크로싱 시점에 따라 상기 브러시리스 직류 전동기를 제어하는 방법에 관한 것이다.

브러시리스 직류 전동기는, 일반적인 직류 전동기의 브러시와 정류자의 기계적 동작을 전기적 회로로 대체한 전동기이다. 이에 따라, 기계적 마찰이 적고, 일반적인 직류 전동기와 구동 특성이 동일하므로 제어가 간편하고 토크(torque) 특성이 좋다.

이와 같은 브러시리스 직류 전동기에 있어서, 최대 구동 효율을 얻기 위하여 고정자와 회전자의 자속들이 서로 직각을 이루도록 하는 것이 필요하다. 이를 위하여, 자속의 중성 시점에서 고정자 전류들의 방향을 바꾸어야 한다. 따라서, 회전자의 위치를 검출하는 센서 예를 들어, 홀(Hall) 센서 등이 필요하다.

한편, 상기와 같은 센서들을 필요로 하지 않는 센서리스(sensorless) 제어 방법들이 있다. 이 제어 방법은, 역기전력이 제로가 되는 제로 크로싱 시점이 자속의 중성 시점과 동일함을 이용한 것이다.

이와 같은 센서리스 제어 방법에 있어서, 역기전력이 제로가 되는 제로 크로싱 시점(zero-crossing time-point)을 비여자상 구간에서의 전압(이하, 비여자상 전압이라 함)을 이용하여 검출하고, 검출된 제로 크로싱 시점에 따라 전류 방향을 제어하는 방법이 있다. 즉, 비여자상 전압이 브러시리스 직류 전동기의 전원의 직류-링크 전압의 절반과 같아지는 시점이 상기 제로 크로싱 시점이 되는 것을 이용한 방법이다.

상기와 같이 비여자상 전압을 이용한 센서리스 제어 방법에 있어서, 종래에는, 비여자상 전압이 브러시리스 직류 전동기의 전원의 직류-링크 전압의 절반과 같아지는 시점을 실시간 모니터링하였다. 하지만, 비여자상 전압의 특성상, 스위칭 리플이 많이 포함되므로, 제로 크로싱 시점의 정확도가 떨어지는 문제점이 있다.

한편, 저역 통과 필터를 사용하는 종래의 방법이 있는데, 이 방법에 의하면, 필터에 의한 시간 지연이 발생되어 제로 크로싱 시점의 정확도가 떨어지는 문제점이 있다.

#### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은, 상기와 같은 문제점들을 개선하기 위하여 창안된 것으로서, 비여자상 전압을 이용한 센서리스 제어 방법에 있어서, 비여자상 전압의 스위칭 리플과 무관하게 제로 크로싱 시점을 검출하여, 제로 크로싱 시점의 정확도를 높일 수 있는 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법을 제공하는 것이다.

### 발명의 구성 및 작용

상기 목적을 이루기 위한 본 발명은, 브러시리스 직류 전동기의 역기전력이 제로가 되는 제로 크로싱 시점에 따라 상기 브러시리스 직류 전동기를 제어하는 방법으로서, 단계들 (a) 내지 (d)를 포함한다. 상기 단계 (a)에서는, 상기 브러시리스 직

류 전동기가 구동된다. 상기 단계 (b)에서는, 상기 브러시리스 직류 전동기의 비여자상 전압( $V_a$ )이 일정한 비율로 변하는 직선의 1차 함수가 구해진다. 상기 단계 (c)에서는, 상기 1차 함수가 사용되어, 상기 브러시리스 직류 전동기의 비여자상 전압( $V_a$ )이 상기 브러시리스 직류 전동기의 전원의 직류-링크 전압의 절반( $V_{dc}/2$ )과 같아지는 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )이 계산된다. 상기 단계 (d)에서는, 계산된 상기 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )이 사용되어 상기 제로 크로싱 시점이 판단되고, 판단된 제로 크로싱 시점에 따라 상기 브러시리스 직류 전동기가 제어된다.

본 발명의 상기 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법에 의하면, 상기 1차 함수를 이용하여 확률적으로 정확도가 높은 상기 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )이 계산되고, 계산된 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )이 사용되어 상기 제로 크로싱 시점이 판단된다. 이에 따라, 비여자상 전압의 스위칭 리플과 무관하게 제로 크로싱 시점이 검출되므로, 제로 크로싱 시점의 정확도가 높아질 수 있다.

이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예가 상세히 설명된다.

도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 의한 3상 브러시리스 직류 전동기(3)의 구동 장치는 정류부(1), 스위칭 구동부(2), 전압 분배부(4), 및 제어기(5)를 포함한다. 제어기(5)는 아날로그 멀티플렉서(MUX)와 CPU(Central Processing Unit)와 같은 신호 처리부를 포함한다. 따라서, 아날로그-디지털 변환기(Analog-to-Digital Converter)가 신호 처리부에 내장되어 있다.

정류부(1)는 입력 교류 전압( $V_{AC}$ )을 직류-링크 전압으로 변환시킨다. 스위칭 구동부(2)는, 제어기(5)로부터의 스위칭 제어 신호들에 따라 동작하여, 직류 브러시 모터(3)의 고정자 권선들에 전류를 흘려준다.

전압 분배부(4)는 3상 브러시리스 직류 전동기(3)의 각 상에 인가되는 전압들을 분배하여 제어기(5)로 입력될 수 있도록 낮춘다. 여기에서, 3상에 대하여 2상 구동을 취하므로, 비여자상이 존재한다. 제어기(5)는, 전압 분배부(4)로부터의 전압에 따라 스위칭 구동부(2)에 스위칭 제어 신호들을 발생시키되, 이하 설명될 방법에 따라 제조 단계에서 이미 계산되어 있는 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )을 사용하여 전류 변환 시점을 결정한다.

도 2는 도 1의 브러시리스 직류 전동기(3)가 구동되는 경우에 a상 단자 전압의 파형을 보여준다. 도 3은 a상이 비여자상이 되는 도 2의 BC 구간의 파형을 확대하여 보여준다. 도 4는 도 3의 A 구간의 파형을 확대하여 보여준다. 도 2에서 AB, AC, BA, 및 CA 구간들을 제외한 BC 및 CB 구간들은, a상이 비여자상이 되는 구간들로서, 단자 전압 즉, 비여자상 전압이 일정한 비율로 하강하거나 상승하는 구간들이다. 도 2 내지 4를 참조하여, 브러시리스 직류 전동기(3)의 역기전력이 제로가 되는 제로 크로싱 시점에 따라 브러시리스 직류 전동기를 제어하는 방법을 설명하면 다음과 같다.

먼저, 브러시리스 직류 전동기(3)를 구동한다.

다음에, 브러시리스 직류 전동기(3)의 비여자상 구간에서의 전압 즉, 비여자상 전압( $V_a$ )이 일정한 비율로 변하는 직선의 1차 함수를 구한다. 본 실시예의 경우, 브러시리스 직류 전동기의 a상의 전압( $V_a$ )이 일정한 비율로 하강하는 BC 구간에서의 직선의 1차 함수가 구해진다. 이를 단계적으로 상세히 설명하면 다음과 같다.

먼저, 비여자상 전압( $V_a$ )이 하강하기 시작하는 기준 시점( $t_0$ )으로부터의 제1 시간( $t_1$ ) 및 제2 시간( $t_2$ )을 설정한다. 여기에서, 제1 시간( $t_1$ )이 제2 시간( $t_2$ )보다 짧고, 제1 비여자상 전압( $V_1$ )이 제2 비여자상 전압( $V_2$ )보다 높다.

다음에, 상기 제1 시간( $t_1$ ) 및 제2 시간( $t_2$ )에 도달하는 시점들에서 서로 다르게 측정되는 제1 비여자상 전압( $V_1$ ) 및 제2 비여자상 전압( $V_2$ )을 구한다.

다음에, 상기 제1 시간( $t_1$ ), 제2 시간( $t_2$ ), 제1 비여자상 전압( $V_1$ ), 및 제2 비여자상 전압( $V_2$ )을 상수로 사용하여, 시간(t)에 대한 비여자상 전압( $V_a$ )의 1차 함수를 구한다. 즉, 상기 1차 함수는 아래의 수학식 1과 같다.

수학식 1

$$V_a = \frac{V_1 - V_2}{t_1 - t_2} (t - t_1) + V_1$$

상기와 같은 방법으로 상기 1차 함수가 구해지면, 상기 1차 함수를 사용하여, 브러시리스 직류 전동기(3)의 비여자상 전압( $V_a$ )이 브러시리스 직류 전동기(3)의 전원의 직류-링크 전압의 절반( $V_{dc}/2$ )과 같아지는 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )을 계산한다. 즉, 아래의 수학식 2와 같은 방정식이 사용된다.

수학식 2

$$\frac{V_1 - V_2}{t_1 - t_2} (t_{ZCP} - t_1) + V_1 = \frac{V_{dc}}{2}$$

따라서, 상기 수학식 2를 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )에 대하여 정리하면, 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )은 아래의 수학식 3의 계산 결과이다.

수학식 3

$$t_{ZCP} = \frac{t_1 - t_2}{V_1 - V_2} \left( \frac{V_{dc}}{2} - V_1 \right) + t_1$$

이와 같이 계산된 상기 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )을 사용하여 상기 제로 크로싱 시점을 판단하고, 판단된 제로 크로싱 시점에 따라 브러시리스 직류 전동기(3)를 제어한다.

참고로, 상기와 같은 제어 방법이 a상의 비여자상 구간인 CB 구간에서도 적용될 수 있음은 당연하다. 물론, b상의 비여자상 구간들인 AC 및 CA 구간들에도 적용될 수 있고, c상의 비여자상 구간들인 AB 및 BA 구간들에도 적용될 수 있다.

도 5는 본 실시예의 성능을 입증하기 위한 실험에서 얻어진 파형들을 보여준다. 도 5에 있어서, 1번 파형은 브러시리스 직류 전동기(3)의 비여자상 전압( $V_a$ )을 가리킨다. 2번 파형은, 종래의 기술처럼 회전자 센서들 예를 들어, 홀 센서들을 사용하여 제어를 수행한 경우에 비여자상의 위치에서 센싱한 회전자 신호를 가리킨다. 3번 파형은, 상기 본 발명의 실시예에 의하여 얻어진 제로 크로싱 시점들의 신호를 가리킨다. 그리고, 4번 파형은, 상기 본 발명의 3번 파형에 따라 제어를 수행한 경우에 비여자상의 위치에서 센싱한 회전자 신호를 가리킨다.

도 5를 참조하면, 2번 파형과 4번 파형의 위상이 거의 동일하다. 따라서, 회전자 센서들을 사용하여 실시간 모니터링을 수행하는 종래의 제어 방법에 비하여, 본 발명에 따른 제어 방법에 어떠한 하자가 없음을 확인할 수 있었다. 더 나아가, 종래의 제어 방법에 비하여, 비여자상 전압의 스위칭 리플과 무관하게 제로 크로싱 시점이 검출되므로, 제로 크로싱 시점의 정확도가 높아질 수 밖에 없다.

발명의 효과

이상 설명된 바와 같이, 본 발명에 따른 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법에 의하면, 상기 1차 함수를 이용하여 확률적으로 정확도가 높은 상기 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )이 계산되고, 계산된 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )이 사용되어 상기 제로 크로싱 시점이 판단된다. 이에 따라, 비여자상 전압의 스위칭 리플과 무관하게 제로 크로싱 시점이 검출되므로, 제로 크로싱 시점의 정확도가 높아질 수 있다.

본 발명은, 상기 실시예에 한정되지 않고, 청구범위에서 정의된 발명의 사상 및 범위 내에서 당업자에 의하여 변형 및 개량될 수 있다.

(57) 청구의 범위

### 청구항 1.

브러시리스 직류 전동기의 역기전력이 제로가 되는 제로 크로싱 시점에 따라 상기 브러시리스 직류 전동기를 제어하는 방법에 있어서,

- (a) 상기 브러시리스 직류 전동기를 구동하는 단계;
- (b) 상기 브러시리스 직류 전동기의 비여자상 전압( $V_a$ )이 일정한 비율로 변하는 직선의 1차 함수를 구하는 단계;
- (c) 상기 1차 함수를 사용하여, 상기 브러시리스 직류 전동기의 비여자상 전압( $V_a$ )이 상기 브러시리스 직류 전동기의 전원의 직류-링크 전압의 절반( $V_{dc}/2$ )과 같아지는 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )을 계산하는 단계; 및
- (d) 계산된 상기 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )을 사용하여 상기 제로 크로싱 시점을 판단하고, 판단된 제로 크로싱 시점에 따라 상기 브러시리스 직류 전동기를 제어하는 단계를 포함하는 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법.

### 청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 단계 (b)에서,

상기 브러시리스 직류 전동기의 비여자상 전압( $V_a$ )이 일정한 비율로 하강하는 직선의 1차 함수가 구해지는 것을 특징으로 하는 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법.

### 청구항 3.

제2항에 있어서, 상기 단계 (b)가,

- (b1) 상기 비여자상 전압( $V_a$ )이 하강하기 시작하는 기준 시점( $t_0$ )으로부터의 제1 시간( $t_1$ ) 및 제2 시간( $t_2$ )을 설정하는 단계;
- (b2) 상기 제1 시간( $t_1$ ) 및 제2 시간( $t_2$ )에 도달하는 시점들에서 서로 다르게 측정되는 제1 비여자상 전압( $V_1$ ) 및 제2 비여자상 전압( $V_2$ )을 구하는 단계; 및
- (b3) 상기 제1 시간( $t_1$ ), 제2 시간( $t_2$ ), 제1 비여자상 전압( $V_1$ ), 및 제2 비여자상 전압( $V_2$ )을 상수로 사용하여, 시간( $t$ )에 대한 비여자상 전압( $V_a$ )의 1차 함수를 구하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법.

### 청구항 4.

제3항에 있어서, 상기 단계 (b1)에서,

상기 제1 시간( $t_1$ )이 상기 제2 시간( $t_2$ )보다 짧고, 상기 제1 비여자상 전압( $V_1$ )이 제2 비여자상 전압( $V_2$ )보다 높은 것을 특징으로 하는 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법.

### 청구항 5.

제4항에 있어서, 상기 단계 (b3)에서 상기 1차 함수가

$$V_a = \frac{V_1 - V_2}{t_1 - t_2} (t - t_1) + V_1$$

인 것을 특징으로 하는 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법.

## 청구항 6.

제5항에 있어서, 상기 단계 (c)에서

$$\frac{V_1 - V_2}{t_1 - t_2} (t_{ZCP} - t_1) + V_1 = \frac{V_{dc}}{2}$$

의 방정식이 사용되는 것을 특징으로 하는 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법.

## 청구항 7.

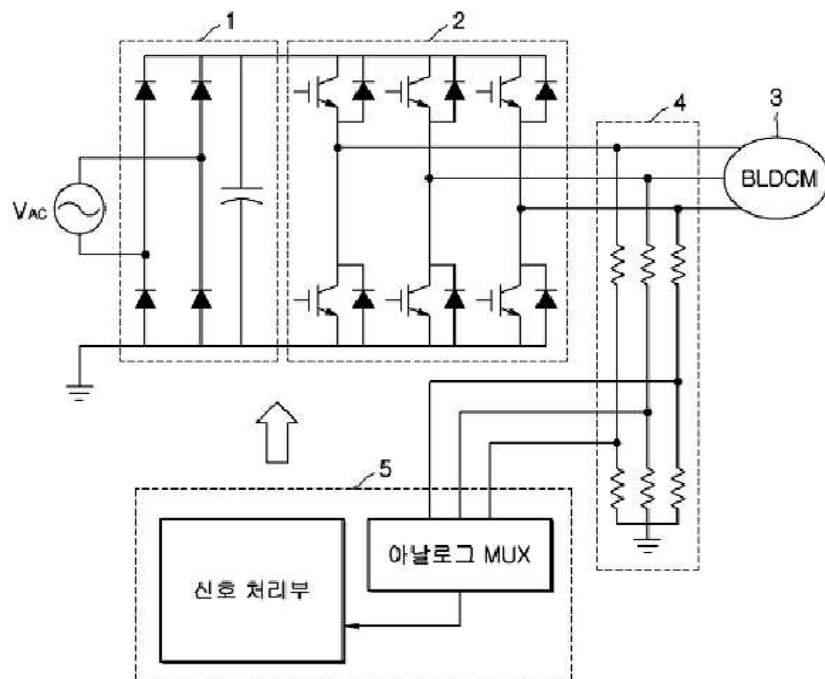
제6항에 있어서, 상기 단계 (c)에서 상기 제로 크로싱 시간( $t_{ZCP}$ )이

$$t_{ZCP} = \frac{t_1 - t_2}{V_1 - V_2} \left( \frac{V_{dc}}{2} - V_1 \right) + t_1$$

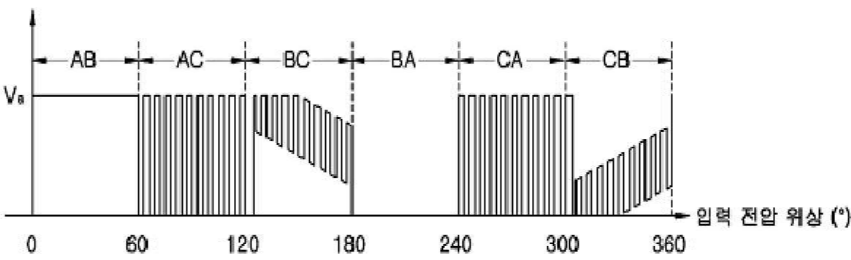
의 계산 결과인 것을 특징으로 하는 브러시리스 직류 전동기의 제어 방법.

도면

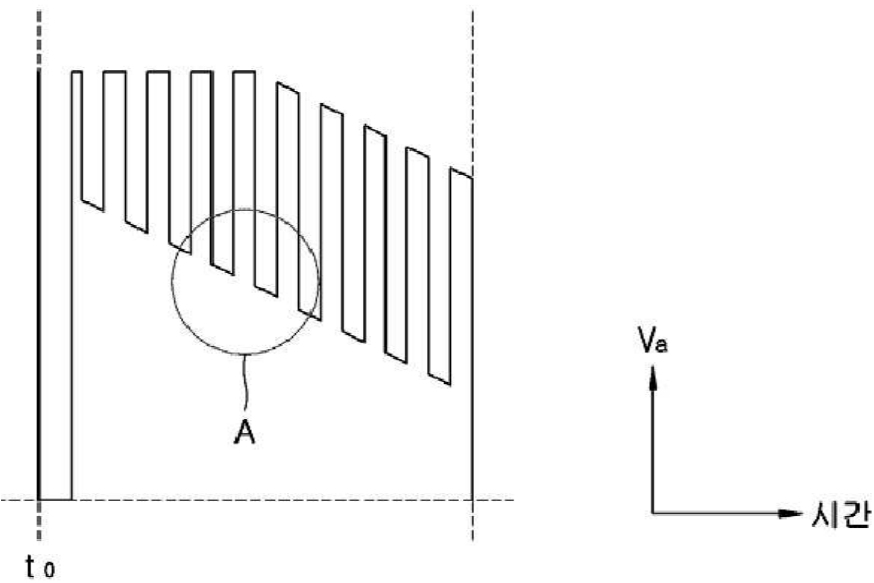
도면1



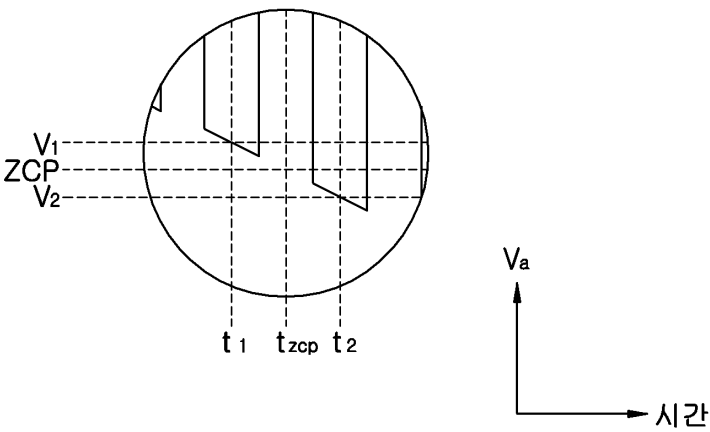
도면2



도면3



도면4



도면5

