

## 버스 냉방용 MAIN 엔진 직결 구동 압축기의 정속 회전장치 설계

김형우\*, 이운근\*\*

\*동환산업(주) 부설연구소, \*\*부산대학교 전자공학과

### The Design of a Constant Speed Controller for BUS Air Conditioning System

Hyung-Woo KIM\*, Un-Kun Yi\*\*

\*Donghwan Ind. Co., Ltd. R&D Center, \*\*Pusan National University

**Abstract** - In this paper, this system which constantly control rotation speed of compressor is designed to use in idling state as traffic jam. Also this system is designed to improve reduction of cooling efficiency when stoping and starting a bus. The estimation of designed system in this paper is performed in the laboratory where KS-R-1053 is satisfied. We come to the conclusion that this system is more excellent than the present system in point of cooing ability and response characteristic of controller.

#### 1. 서 론

장시간에 걸쳐 쾌적한 실내온도를 유지시켜야 하는 BUS Air Conditioning System의 효과는 A/C(Air Conditioner) 압축기(compressor)의 지속적인 구동속도에 의존한다. 대부분의 일반 Direct Drive Unit의 경우 A/C 압축기의 회전속도는 차량 엔진(engine)의 회전속도에 비례하기 때문에 교통이 혼잡한 곳(idling 상태), 정차 또는 발차 시 냉방효과가 감소될 뿐 아니라 엔진 및 압축기의 수명도 크게 단축시킨다.

이러한 문제의 해결책으로 본 논문에서는 가변풀리(pulley)에 V-Belt를 장착한 정속 회전장치(1)를 구성하여 압축기의 회전속도를 독립 제어함으로써 에어컨의 냉방성능을 일정하게 유지시키고, 또한 이를 제어하는 방법으로는 제어대상에 특정의 조작량을 입력한 뒤 제어대상의 상태변화를 추출하여 이것을 다음의 조작량을 연산하는 기준으로 사용하는 새로운 P-I gain 조절기법(2)을 적용하여 가변풀리의 적응력을 보다 빠르고 유연하게 제어한다.

본 시스템의 유용성을 입증하기 위하여 기존 시스템과의 비교실험을 통해 냉방능력의 지속성과 제어기의 응답성을 확인한다.

#### 2. 압축기의 정속 회전장치 설계

##### 2.1 정속 회전장치의 필요성 및 구성

버스 A/C 시스템은 엔진 구동방식에 따라 크게 두 가지 방식으로 나눌 수 있다. 에어컨 구동을 위한 별도의 엔진을 갖춘 서브엔진(Sub-Engine)방식과 메인엔진(Main-Engine)을 에어컨 시스템의 구동원으로 하는 직결구동방식으로 나뉜다. 서브엔진 방식은 버스의 하부에 별도의 시스템으로 장착시킬 수 있어 겨울철 등 A/C 시스템이 필요없는 경우에는 탈착이 가능하며, 버스의 운전과 상관없이 일정한 동력을 이용하여 A/C를 구동함으로써 냉방능력의 변화가 적은 장점을 갖고 있다. 그러나 최근 버스의 높이가 낮아지는 추세로 인하여 시스템의 장착이 어렵고, 소형 디젤 엔진을 A/C 구동 엔진으

로 사용하는 경우 공해 문제의 발생이 우려되며, 서브엔진의 추가적인 중량이 요구되는 단점을 갖고 있다. 반면, 버스 메인엔진 직결구동방식의 경우에는 냉방 시스템의 중량이 적고, A/C 작동에 따른 추가적인 연료 소비가 적으나, 차량의 운전 상태에 따라 A/C 압축기의 회전수 변화에 의한 출력의 변화로 A/C의 냉방능력의 심한 변화를 나타내며, 특히 버스의 속도 변화가 심한 도시형 버스의 경우 냉방능력의 변화가 심하여 승객들의 불만을 사고 있다. 따라서, 버스 메인엔진 직결방식 A/C를 사용하면서 버스의 운전상태에 영향을 받지 않고 일정한 냉방성능을 얻기 위해서는 서브엔진 구동방식과 같은 A/C의 압축기의 정속회전이 필수적이다. 따라서, 현재 일반적인 메인엔진 직결구동방식(벨트를 이용하여 버스 메인엔진과 A/C 시스템의 압축기를 직접 연결하여 메인엔진이 압축기를 직접 구동하는 방식)에서, 엔진 풀리와 압축기 풀리 사이에 무단변속장치(버스 냉방용 메인 엔진 직결구동 압축기의 정속 회전장치)를 추가 구성함으로써 압축기 풀리의 회전수를 메인엔진 Pulley의 회전수와 관계없이 일정하게 유지하면 버스 A/C의 두 가지 방식의 장점을 극대화 할 수 있어 에너지 절약과 환경 보호에 기여 할 수 있다.

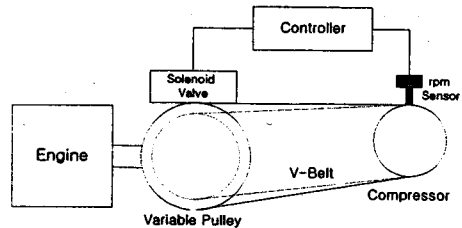
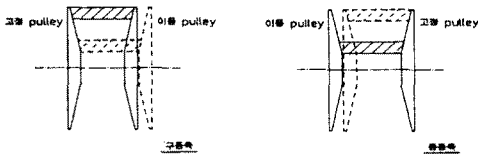


그림 1. 정속 회전장치의 구성도

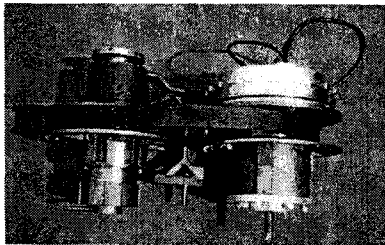
본 연구에서 개발된 정속 회전장치의 구성은 그림 1과 같으며, 무단변속을 위한 가변풀리(variable pulley)가 엔진에 연결 장착되어있다. 가변풀리는 구동 및 종동풀리로 구성되고 V-Belt의 회전반경을 연속적으로 변화시킴으로서 무단변속이 이루어진다. 그림 2와 같이 고정편 풀리와 이동편 풀리 사이의 간격을 조절하면 V-Belt의 회전반경이 종속적으로 움직이므로 연속적인 변속비를 얻을 수 있다. 이동풀리는 비례제어형 밸브에 의해 제어되는데 제어량은 압축기의 회전수를 측정하는 rpm 센서와 기 목표설정 회전수를 비교함으로써 결정된다.

##### 2.2 변속구간별 특성

V-Belt식 무단변속은 그림 3과 같이 3개의 비례구간으로 나누어진다. 엔진 rpm이 저속에서 가변될 때 A/C



(a) 구동축 풀리 (b) 종동축 풀리



(c) 시스템 조립품

그림 2. V-Belt식 무단변속 원리와 제작된 풀리

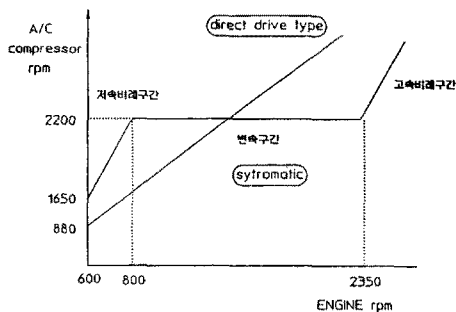


그림 3. 엔진 rpm과 압축기 rpm의 상관관계

압축기 rpm은 가변풀리의 간격이 최소가 되어 보다 큰 회전반경으로 V-Belt를 회전시키며, 설정rpm 인 2,200rpm에 도달하기 전까지는 엔진 rpm의 상승에 비례하는 저속 비례구간을 갖게 되고, 마지막으로 엔진 rpm이 800을 넘으면 A/C 압축기 rpm은 2,200rpm을 유지하기 시작한다. 이는 가변풀리의 간격이 적절히 조절되어 V-Belt의 회전반경을 2,200rpm으로 유지하기 때문이다. 이 구간을 변속구간 혹은 시트로메틱 (sytromatic) 구간이라고 한다. 엔진 rpm이 2,350을 넘어서면 가변풀리의 간격이 최대가 되어 엔진 rpm과 더불어 A/C 압축기 rpm도 상승하는 구간특성을 갖게 된다. 정속 회전장치가 장착되지 않았을 경우를 direct drive type으로 설정하여 다음의 그래프에 rpm 상관관계를 비교 도시하였다.

### 3. 정속 회전장치 제어기 설계

#### 3.1 제어기의 구성

A/C 압축기 정속 회전장치의 제어기 구성은 그림 4와 같다. 압축기의 회전수는 와전류 센서를 사용하여 측정하고, 노이즈 필터링을 위해 hysteresis 입력 필터를 거쳐 MPU에 전달된다. MPU에서는 rpm으로 환산하여 목표치에 준하는 조작량을 D/A 변환기를 통해 AMP부로 출력한다. [3] AMP부는 비례제어형 솔레노이드 밸브의 제어전류를 POWER TR로 보내고 마침내 솔레노이드 밸브는 풀리비를 적절히 조절하여 압축기의 정속회전을 하게된다.

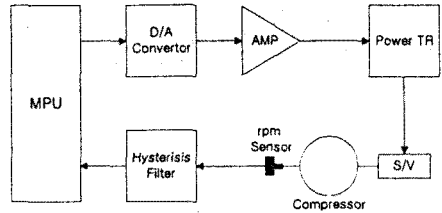


그림 4. 제어기 구성도

#### 3.2 제어 알고리즘

본 제어기에 적용된 알고리즘은 PID 제어이론 중 P기법을 사용하는데[4], P gain에 대한 설정은 새로운 P-I gain 조절기법을 적용한다. 제어대상 즉, 솔레노이드 밸브에 특정의 조작량을 인가한 뒤 압축기의 상태변화를 추출하여 다음의 조작량을 연산하는 방법이다. 즉 목표된 회전수를 설정해두고 임의의 조작량을 인가하면 목표치의 50%~65%에 도달했을 때 목표된 회전수에 대한 여분의 gain이 MPU에서 계산되어 제어대상에 인가하면 제어대상은 즉각적으로 목표치에 도달하도록 설계되었다.

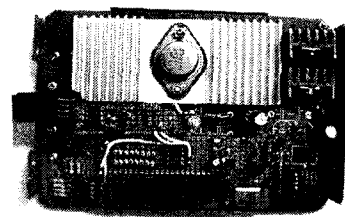
## 4. 실험 및 결과고찰

#### 4.1 실험장치의 구성

그림 5는 본 연구에서 개발된 시스템의 시제품을 나타낸다.



(a) 압축기 정속 회전장치



(b) 정속 회전장치 제어기

그림 5. 압축기 정속 회전장치 및 제어기

이의 성능은 저속구간에서 냉방성능 유지와 압축기의 수명증가에 있으므로 그림 6과 같이 엔진 rpm을 3초 동안 690rpm에서 2,500rpm까지 가속한 다음 7초간 유지시킨 후 다시 690rpm까지 3초의 시간으로 감속한 다음 32초를 유지시켜 저 rpm에서 시스템의 특성을 파악할 수 있도록 하였다.

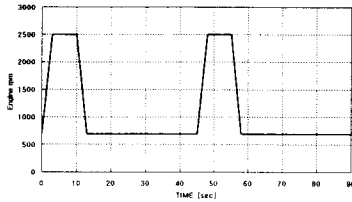


그림 6. Engine rpm 변화 주기

시험은 그림 7과 같이 차량용 에어컨 시험규격인 KS-R-1053(자동차용 냉방기 시험방법) 규격의 조건을 만족시킬 수 있는 수 있는 전용시험실에서 이루어졌다. 항온 항습실에 evaporator를 설치하고 실내의 건구온도는  $27^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 를, 습구온도는  $19^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 를 유지시켰으며, 항온실에는 condenser를 설치하여 실내온도는  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 를 유지시켜 냉방능력 시험을 수행하였다. 이때 사용되어진 냉방능력 측정장비는 전용의 Data Acquisition System으로 각 측정부의 온도를 열전대(thermo couple)로 받아들여 이를 A/D 변환기를 통해 디지털 신호화하고 이 신호는 PC에 내장된 Program에 의해 최종적으로 냉방능력이 산출되어진다.

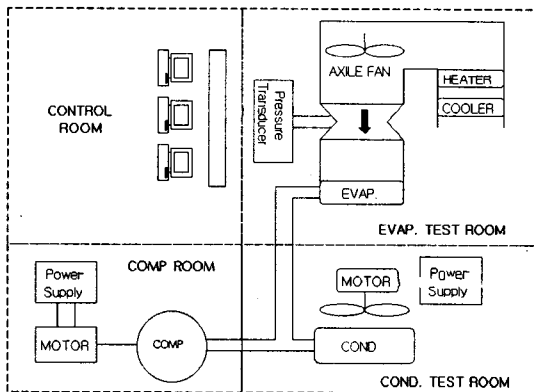


그림 7. 항온항습 A/C 시험장치 개략도

#### 4.2 실험 및 결과고찰

그림 8은 시스템 ON과 OFF상태의 evaporator 입출구의 공기온도 변화를 나타낸 그래프로서, 시스템 OFF시 Evaporator Outlet 건공기 온도가  $12 \sim 15.5^{\circ}\text{C}$ 까지의  $3.3^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 가짐을 알 수 있다. 이는 시스템 OFF시 압축기 rpm의 저속구간이 크기 때문에 나타나는 현상이다. 공기온도의 편차가 크게 되면 차내 온도의 변화가 커지게 되며 아울러 차내의 쾌적성을 감소시키는 중요한 원인이 된다. 반면 시스템 ON시에는 OFF시와 비교하여 evaporator 출구온도는  $9.4 \sim 11.5^{\circ}\text{C}$ 로서  $2.1^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 가지며 이는 시스템 OFF시 보다  $1.2^{\circ}\text{C}$ 의 온도편차가 줄어들었음을 볼 수 있다.

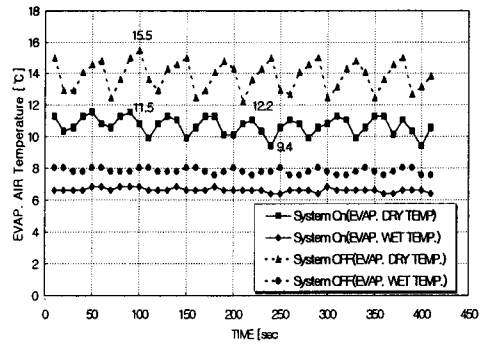


그림 8. Evaporator 공기측 온도변화

제어기의 제어능력을 조사하기 위하여 엔진의 main pulley 및 압축기에 회전수 검출용 센서를 부착시킨 뒤 이를 pen recorder로 기록하였다. 그 결과 제어기의 응답시간은 그림 9에서 보는 것과 같이 2초 후에 정상상태에 도달했으며, 최대 에러율은 5.3%로 나타났다. 이러한 결과는 최초 예상했던 응답시간 1초보다 못미치는 결과이나 최대 에러율은 5% 수준으로 만족한 결과를 얻었다 하겠다.

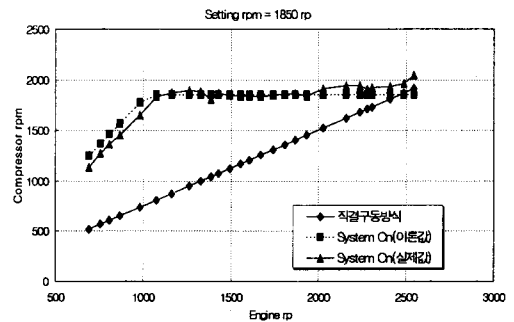


그림 9. 엔진 rpm과 압축기 rpm의 상관관계

### 5. 결 론

본 연구에서는 BUS 메인 엔진 직결구동 압축기 정속 회전장치를 설계 및 구현하였으며, 이의 장착 전과 후의 냉방능력을 비교 Test한 결과 압축기의 정속 회전장치를 장착한 시스템이 35%의 성능향상을 나타내었다.

제어기의 응답특성으로는 P-gain 입력으로 인해 설정한 rpm에 정확하게 도달하였지만 풀리(pulley)의 폭과 V-belt의 폭이 제한되어 있는 저속구간과 고속구간에서는 정속회전에 대한 응답이 다소 느려지는 문제가 도출되었다. 이는 향후 기구적인 보완이 필요하리라 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] H. S. Kim and K. W. Kim, "Axial Force of a V-Belt", KSME Journal, No.1, pp 56~61, 1989.
- [2] 임상덕, "새로운 PI 이득조정 기법을 적용한 브러시리스 직류전동기의 속도제어기 설계", p24~p29, 1996.
- [3] 이우일, 김재택, "전세계 트랜지스트 규격집", 가남사.
- [4] B. Kuo, "Automatic Controller System", Prentice Hall, 1982.