압축천연가스 겸용 차량의 출력 및 토크 향상을 위한 점화 진각 제어기 설계

박진현* · 김성훈** · 조승완** · 최영규***

Design of Spark Advanced Controller for Improvement in Power and Torque of CNG Bi-Fuel Vehicle

Jin-Hyun Park* · Sung-hoon Kim** · Seung-Wan Cho** · Young-Kiu Choi***

본 논문은 교육과학기술부와 지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과임

요 약

최근 들어 환경에 대한 관심이 높아지면서 대기오염 방지에 비중을 둔 CNG 연료에 대한 연구가 활발하다. 그러나, 가솔린연료에 비해 출력이 감소하며, 1회 충전 거리가 짧은 단점을 가지고 있다. 특히, 토크 및 출력 저하의 원인으로는 CNG 연료가 가솔린에 비해 단위체적당 발열량이 낮고, 화염 전파 속도가 느림에 따라 혼합기가 연소되는 타이밍 손실 등에 기인한다. 본 연구에서는 타이밍 손실을 고려한 점화 진각 제어장치를 설계하여 이를 차량에 실제 장착하고, 새시 다이나모미터(Chassis Dynamometer)에서 엔진 출력 및 토크를 측정하였다. 측정된 결과 일반적인 CNG 바이 퓨얼 시스템에 비하여 최대 토크 및 출력이 향상되었다.

ABSTRACT

Recently, environmental concerns increased, CNG fuel research for the prevention against air pollution is actively. But, the problems of CNG fuel have less output and a shorter charging distance than gasoline. Especially, the causes of the torque and output reduction are the mixed fuel has a combustion timing loss in case of CNG fuel which has a smaller heating value per a unit volume and a slower flame propagation speed than gasoline. In this paper, we design the spark advanced controller in consideration of the spark timing loss. Through the experimental of chassis dynamometer, we show that maximum power and torque have improved compared to that of general CNG bi-fuel system.

키워드

압축천연가스, 점화진각제어기, 화염전파속도, 연소타이밍손실

Key word

CNG fuel, the spark advanced controller, a flame propagation speed, a combustion timing loss

* 진주산업대학교 메카트로닉스공학과 (교신저자, uabut@jinju.ac.kr)

** THE SYSTEM

*** 부산대학교 공과대학 전자전기공학부

접수일자 : 2010. 05. 21

심사완료일자 : 2010. 06. 10

Ⅰ. 서 론

천연가스 자동차(NGV; Natural Gas Vehicle)는 70년대의 에너지 위기(oil shock)에 석유계 연료의 대체에너지로서 관심 있게 연구되어 왔으나 최근 들어 환경에 대한 관심이 높아지면서 대기오염 방지에 비중을 둔 청정연료로서의 연구가 활발하다[1~4]. 천연가스자동차(NGV)는 1992년부터 1997년까지 G-7사업으로 천연가스자동차를 개발하여 이후 CNG버스 시범운행을 통해 CNG버스의 우수성이 확인된 후, 정부는 국내 대기오염 저감을 위해 2000년 6월부터 월드컵 개최도시를 중심으로 천연가스버스를 보급하기 시작하였다.

연료의 저장방식에 따라 압축천연가스(CNG) 자동차, 액화천연가스(LNG) 자동차, 흡착천연가스(ANG) 자동차로 구분되고, 연료공급 방식에 따라 CNG전용(dedicated), CNG 바이 퓨얼(bi fuel : 가솔린겸용), CNG 듀얼 퓨얼(dual fuel : 디젤혼소)방식이 있다[3,4].

CNG를 가솔린엔진에 적용하면 배출가스 저감효과가 현저하여 CO, HC는 30-50%, CO_2도 20-30% 이상 감소하는 것으로 보고되고 있다[1~4]. 또한 옥탄가가 130으로 높기 때문에 엔진 압축비를 높일 수 있어 엔진효율이 좋고 연료소비율을 향상시킬 수 있다. 엔진 연소실과 연료공급 계통에 퇴적물이 적어 윤활유나 엔진오일, 필터의 교환 주기가 연장되며 엔진수명도 길다[3,5,7~8].

그러나 가솔린엔진에 비해 출력이 감소하며, 1회 충전 거리가 짧은 단점을 가지고 있다. 토크 및 출력 저하의 원인으로는 CNG 연료가 가솔린에 비해 단위체적당 발열량이 낮고, 체적효율이 떨어지며, 휘발유에 비하여 CNG의 화염 전파 속도가 느림에 따라 혼합기가 연소되는 타이밍 손실 등에 기인한다. 따라서 본 연구에서는 타이밍 손실을 고려한 점화 진각 제어장치를 설계하여 이를 차량에 실제 장착하고, 새시 다이나모미터(Chassis Dynamometer)에서 엔진 출력 및 토크의 향상을 위한 점화 진각 제어 장치를 개발하고자 한다.

Ⅱ. 압축천연가스 겸용 차량의 점화진각 제어장치

2.1 CNG 바이 퓨얼 시스템

NGV는 70년대의 에너지 위기에 석유계 연료의 대체에너지로서 관심 있게 연구되어 왔으나 최근 들어 환경에 대한 관심이 높아지면서 대기오염 방지에 비중을 둔 청정연료로서의 연구가 활발하다.

연료공급 방식에 따라 CNG 전용, CNG 바이 퓨얼, CNG 듀얼 퓨얼 방식이 있으나, 본 연구에서는 CNG 바이 퓨얼 시스템에서의 엔진 성능 향상에 관하여 연구하고자 한다. CNG 바이 퓨얼 시스템은 휘발유와 CNG를 동시에 자동차에 저장하고 그 중 한 가지를 선택하여 연료로 사용하는 방식이다. 현재 천연 가스 차량의 보급초기에 천연가스의 충전 환경이 좋지 않을 경우, 사용하기 적합한 장점이 있다. 그림 1은 일반적인 CNG 바이 퓨얼 시스템의 블록 다이어그램이다. 그림에서와 같이 점화시기의 결정은 CNG ECU(Electronic Control Unit)와는 무관하게 가솔린 ECU에 의하여 결정된다. 가솔린 ECU는 가솔린 연료에 맞게 점화 시기가 조절되어 있으므로 CNG 연료를 사용하므로 인하여 토크 및 출력 저하의 원인이 된다.

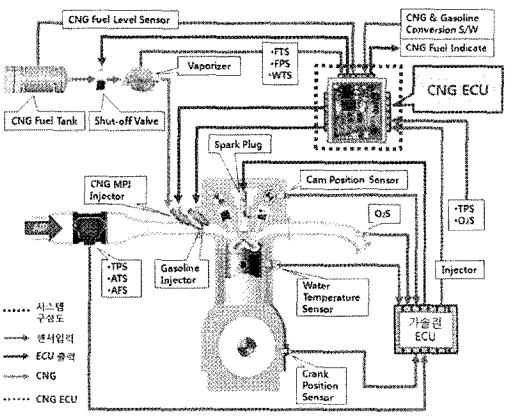


그림 1. CNG 바이 퓨얼 시스템의 블록 다이어 그램
Fig. 1 The Block diagram of CNG bi-fuel system

2.2 점화 진각 제어 장치

CNG 바이 퓨얼 시스템은 가솔린과 CNG 연료를 경우에 따라 다르게 사용하므로, 점화 시기도 각기 다른 연료에 맞추어 점화 시기가 결정되어야 한다. 그러나 현재의 CNG 바이 퓨얼 시스템은 그러하지 못하다. 이것은 CNG 바이 퓨얼 시스템의 출력과 토크를 떨어뜨리는 원인이 된다. 또한 CNG 연료가 가솔린에 비해 단위체적당 발열량이 낮고, 체적효율이 떨어지며, 휘발유에 비하여 CNG

의 화염 전파 속도가 느림에 따라 혼합기가 연소되는 타이밍 손실 등에 의하여 엔진의 출력과 토크 역시 감소시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 관점에서 점화 시기를 조절하여 CNG 연료에 맞는 최대 출력과 토크가 발생하도록 하고자 한다. 최대 출력과 토크를 발생하기 위한 점화 시기의 결정은 위의 여러 문제 중 화염 전파 속도가 가장 큰 요인으로 생각되어진다. 일반적인 경우, 화염 전파 속도는 휘발유(C_8H_{17})의 경우 $0.83(m/\sec)$ 이며, CNG(천연가스: CH_4)의 경우 $0.67(m/\sec)$로 CNG가 휘발류에 비하여 20% 정도 느리다[7,8]. 그러나 화염 전파 속도는 엔진으로 들어오는 공기의 흡기온도, 실린더 벽의 온도, 혼합기의 농도, 흡기 압력 등에 따라 달라지므로 단순히 화염 전파 속도에 대한 함수만으로는 점화 시기를 결정하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 점화 시기의 결정을 일정 비율로 점화 시기를 진각시켜 전체적인 출력과 토크의 크기를 비교하고 그 결과를 토대로 엔진의 회전수에 따른 전체적인 점화 진각 시기를 결정하고자 한다.

그림 2는 점화 진각 제어기를 장착한 CNG 바이 퓨얼 시스템을 나타내었다. 점화 진각 제어기는 TDC(Top Dead Center)센서나 CPS(Crank Position Sensor) 신호를 사용하지 않고 가솔린 ECU의 점화 신호만을 입력으로 하여 점화각의 진각을 결정하도록 하였다.

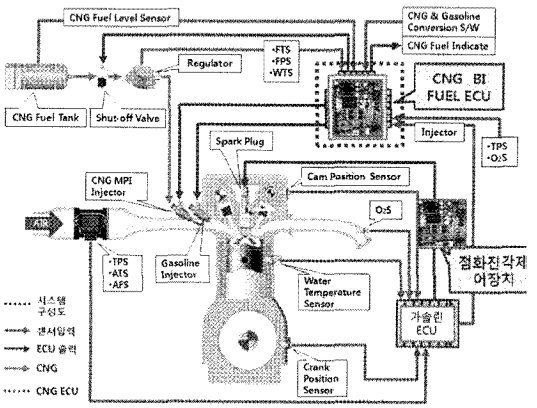


그림 2. 점화 진각 제어기를 장착한 CNG 바이 퓨얼 시스템의 블록 다이어그램
Fig. 2 The Block diagram of CNG bi-fuel system with spark advanced controller

이는 여러 가지 입력 조건을 고려하여 설계할 수 있으나, 제어의 간편성과 단순한 제어기 구성 등을 통하여 제품의 단가를 낮추는 측면에서 최소의 입력 조건으로 제어기를 구성하여 설계하였다.

그림 3은 점화 진각제어 장치의 신호 흐름도 이다. 차량 ECU로부터 받은 점화 신호를 감지하여 매 점화 신호마다 크랭크 회전속도를 계산하고, 이를 토대로 점화 진각 제어 알고리즘을 적용하여 점화 진각 각도를 결정한다.

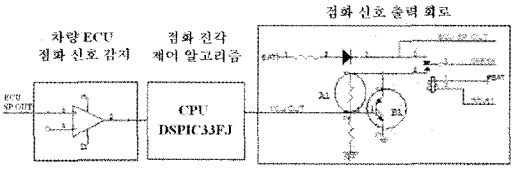


그림 3. 점화 진각 제어 장치 신호 흐름도
Fig. 3 The signal flow of a spark advanced controller

그림 4는 엔진 속도가 4000(RPM)에서의 가솔린 ECU에서 나오는 점화 시기와 점화 진각 각도 11°에서의 점화 진각제어 장치에 의하여 발생하는 점화 시기를 나타내었다. 오실로스코프 상의 위쪽 파형이 ECU에서 발생한 점화 시기를 나타내며, 로우(low)에서 하이(high)로 변화할 때 점화 플러그의 점화 불꽃이 발생한다. 오실로스코프 상의 아래 파형은 하이에서 로우로 변화할 경우(신호 검출을 쉽게 하기 위하여 역상(inverting)으로 함)에 점화 플러그의 불꽃이 발생한다. 약 0.85(msec) 정도 진상되었음을 알 수 있다.

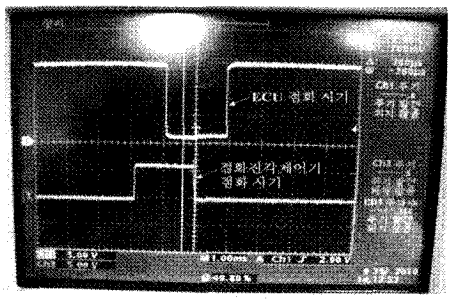


그림 4 11° 점화진각제어장치의 점화 파형
Fig. 4 The spark wave of 11° spark advanced controller.

Ⅲ. 시스템 구성

본 연구의 CNG 바이 퓨얼 시스템의 최대 출력 및 토크를 측정하기 위하여 Dyno-Race DF2F라는 새시 다이나모메터를 사용하였으며, 자동차는 2009년 형 아반테 HD 1.6 CVVT (현대자동차)를 CNG 바이 퓨얼 시스템으로 개조하여 사용하였다. 그림 5는 새시 다이나모미터에서 엔진의 출력 실험을 하는 장면이다.

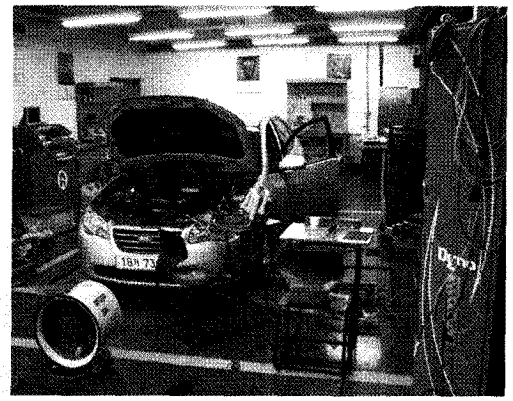


그림 5 엔진 출력 실험 장면
Fig. 5 The picture of a engine output test

점화 진각 제어기는 그림 6과 같이 구현하였다. CPU는 DSPIC33FJ(Microchip) 프로세서를 사용하고, 가솔린 ECU의 점화 신호만을 사용하여 점화 진각 제어 신호를 구현하였다.

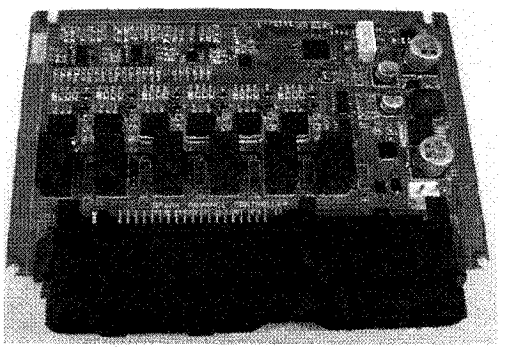


그림 6 점화 진각 제어기
Fig. 6 A spark advanced controller

Ⅳ. 실험 및 고찰

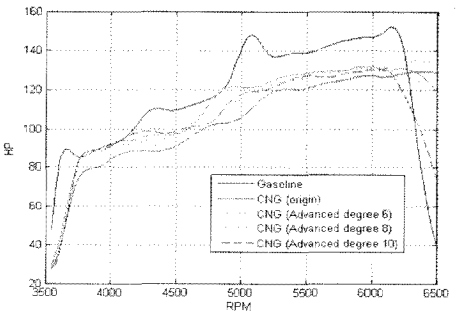
자동차 엔진의 최대 출력과 토크를 발생하기 위한 점화 진각 시기의 결정은 화염 전파 속도가 가장 큰 요인으로 생각되어지나, 공기의 흡기온도, 실린더 벽의 온도, 혼합기의 농도, 흡기 압력 등에 따라 화염 전파 속도가 달라진다. 그러나 CNG의 화염 전파 속도가 휘발류에 비하여 20% 정도 느리다고 가정하면, 점화 각도의 진각이 필요하다. 따라서 일정한 점화 진각에 대한 실험을 통하여 점화 진각에 대한 성능을 분석하고, 이를 통하여 전체적인 점화 진각 각도를 설정하고자한다.

실험의 출력 및 토크의 측정은 매번 동일 조건에 대해서도 항상 같은 결과가 나오지 않는다. 이는 자동차의 공기압이나 새시 다이나모미터와 자동차 바퀴의 슬립 그리고 실험을 위한 운전자의 개인적인 감각 차이에 의하여 다르게 나타날 수 있다. 그러나 결과의 전체적인 출력 및 토크 특성은 유사하며, 크기 역시 많은 차이가 나지 않는다.

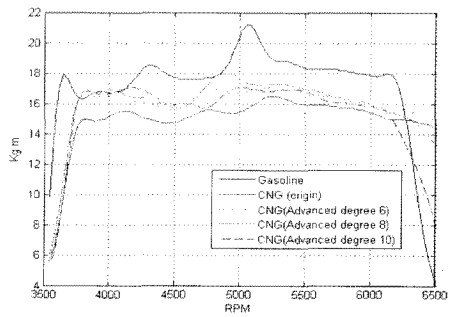
그림 7은 가솔린 연료를 사용한 경우와 점화 진각을 하지 않은 CNG 바이 퓨얼 시스템, 점화 진각 각도를 6°, 8°, 10°로 한 바이 퓨얼 시스템의 경우 출력과 토크를 비교하였다. 가솔린 연료를 사용한 경우가 CNG 연료를 사용한 경우들보다 출력 및 토크의 비교에서 20%이상 좋음을 알 수 있다. 이는 현재 장착된 가솔린 ECU가 가솔린 연료에 대하여 최적화 되었음을 알 수 있다. 본 실험은 점화 진각을 하지 않은 CNG 바이 퓨얼 시스템과 점화 진각 각도를 6°, 8°, 10°로 한 경우의 바이 퓨얼 시스템과의 출력과 토크의 크기를 비교하여 점화 진각을 위한 제어 방법을 도출하고자 한다.

그림에서 3500(rpm)과 4500(rpm)에서는 점화 진각 각도가 10°일 경우가 점화진각을 하지 않은 CNG 바이 퓨얼 시스템에 비하여 평균적으로 10% 정도 출력과 토크가 향상됨을 알 수 있다. 그리고 4500(rpm)에서 6000(rpm)의 경우, 점화 진각 각도가 8°에서 7% 정도 출력과 토크가 향상됨을 알 수 있다. 특히, 최대 토크는 점화 진각을 하지 않은 경우, 5256(rpm)에서 16.5(kgm), 점화 진각이 8°인 경우, 4880(rpm)에서 18.0(kgm)로 약 9% 정도 높음을 알 수 있다. 또한 6000(rpm) 이상의 경우에서는 점화 진각이 6°인 경우가 3.5% 정도 향상됨을 보였다. 특히, 최대 출력 역시 점화 진각을 하지 않은 경우,

6386(rpm)에서 129.6(HP), 점화 진각이 6°인 경우, 6317(rpm)에서 135.1(HP)로 약 4.2%정도 높음을 알 수 있다.



(a)



(b)

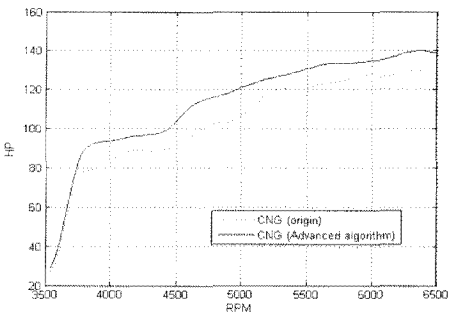
그림 7 새시 다이나모미터의 출력 및 토크 특성
(a) 출력 (b) 토크
Fig. 7 The characteristic of powers and torques at chassis dynamometer
(a) The powers (b) The torques

따라서 점화 시기의 결정을 엔진의 속도에 따라점화 진각 크기를 선형화하여 식(1)과 같이 사용하여 실험하고자 한다.

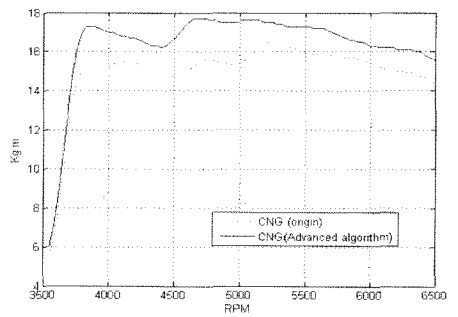
$$\begin{aligned} &3500(\text{rpm}) \sim 4500(\text{rpm}): \\ &\quad y_{adv} = -0.002 \times x_{rpm} + 18 \\ &4500(\text{rpm}) \sim 6000(\text{rpm}): \\ &\quad y_{adv} = -0.00133 \times x_{rpm} + 15 \\ &6000(\text{rpm})\text{이상}: \\ &\quad y_{adv} = -0.002 \times x_{rpm} + 19 \end{aligned} \tag{1}$$

단, y_{adv} 는 점화 진각 각도, x_{rpm} 은 엔진의 속도를 나타낸다.

그림 8은 수식 (1)을 사용한 점화 진각 제어기를 구성하여, 실험한 결과이다. 엔진 속도 전 구간에서 점화 진각을 사용하지 않은 결과와 출력 및 토크를 비교한 결과 평균적으로 8%정도 높은 성능 특성을 보인다. 특히, 최대 출력과 및 최대 토크 특성 역시 8.1%, 7.3%로 향상됨을 알 수 있었다.



(a)



(b)

그림 8 점화 진각 제어에서의 새시 다이나모미터의 출력 및 토크 특성 (a) 출력 (b) 토크
Fig. 8 The characteristic of powers and torques at chassis dynamometer under the spark advanced control (a) The powers (b) The torques

V. 결 론

CNG 연료는 휘발유보다 화염 전파 속도가 느림에 따라 혼합기가 연소되는 타이밍 손실이 발생하여 최대 토크 및 출력이 떨어지는 단점을 갖고 있다.

본 연구에서는 이러한 타이밍 손실을 고려한 점화 진각 제어장치를 설계하여 이를 차량에 실제 장착하고, 세시 다이나모미터에서 엔진 출력 및 토크의 향상을 위한 점화 진각 제어 장치를 설계하였다. 개발된 점화 진각 제어 장치는 CNG 바이 퓨얼 시스템에 적용하여 일반적인 CNG 바이 퓨얼 시스템에 비하여 최대 토크 및 최대 출력이 향상되었으며, 전 속도 구간에서 평균적으로 8% 정도의 높은 성능 향상을 보였다.

감사의 글

본 논문은 교육과학기술부와 지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

[1] http://www.ngvcar.co.kr/cng/cng04.asp?sgubun

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_natura l_gas

[3] "Sustainable biofuels: prospects and challenges". The Royal Society. January 2008. http://royalsociety.org/displaypagedoc.asp?id=28632. Policy Document 01/08, pp. 35-36

[4] Diane Nassy. "Flexible Fuel Vehicles". Motopoint. http://www.motorpoint.com.au/ffv-alternative.asp. Retrieved 2008-08-24.

[5] 전영남, 송형운, 김성천, 임문섭, "Glidarc 개질기에 개질 특성 및 경제성," 한국대기환경학회 2006년 추계학술대회논문집, 496-497, 2006.

[6] 임문섭, 홍성인, 홍명석, 전영남, "산소부화 압축착화기관을 이용한 메탄으로부터 수소 생산," 한국대기환경학회지, 제23권 제5호, pp. 557~562, 2007

[7] 대우중공업, "디젤 엔진의 CNG 전환 기술 개발," 제2차년도 연차보고서, 환경부, 국회도서관, 1997. 12

[8] 대우중공업, "디젤 자동차 배출가스 저감기술," 제2차년도 연차보고서, 환경부, 국회도서관, 1997. 12

저자소개

박진현(Jin-Hyun Park)

한국해양정보통신학회
제14권 1호참조

김성훈(Seong-Hoon Kim)

1998년 부산정보대학 전기전자계열 컴퓨터제어전공(산업석사)
2000.07.20 ~현재 : THE SYSTEM 대표

※관심분야 : 엔진 제어기술(천연가스 엔진, 클린디젤 엔진, GDI), 자동차배출가스저감기술

조승완(Seung-Wan Cho)

2003년 부산대학교 기계공학과 (공학석사)
2010년 부산대학교 기계공학과 (공학박사)

2010.03.02 ~현재: THE SYSTEM 기술개발실 실장
2009.02.01 ~현재: (사)한국운행차 배출가스교육기관 협의회 총무이사(환경부)
2006.06.01 ~ 현재: 국가기술자격검정 자동차 종목 실기 감독위원(한국산업인력관리공단)

※ 관심분야 : 엔진 제어기술(천연가스 엔진, 클린디젤 엔진, GDI), 자동차배출가스저감기술

최영규(Young-Kiu Choi)

한국해양정보통신학회
제14권 1호참조