

4방식 조향장치를 적용한 관리 작업차 개발 II (4방식 조향장치 개발)

조현덕*

(논문접수일 2004. 6. 14, 심사완료일 2004. 11. 8)

Development of Working Tractor with Four-Type Wheel Steering System II (Development of Four-Type Wheel Steering System)

Hyun-Deog Cho*

Abstract

The agricultural working tractor of this study is equipped with 4 wheel driving system developed in study I and 4-type wheel steering system. The wheel steering system has four type of steering methods that are front wheel steering, rear wheel steering, 4 wheel steering with opposite phase, and 4 wheel steering with corresponding phase. This study introduces the hydraulic circuit of the 4-type wheel steering system and the construction of working tractor. Judging from the field test results of the developed working tractor, it is apparent that 4-type wheel steering system has many advantages when driving in a narrow corral.

Key Words : 4-Type Wheel Steering(4방식 조향), 4 Wheel Steering(4륜 조향), Corresponding Phase(동위상), Opposite Phase(역위상), Working Tractor(관리 작업차)

1. 서론

운전용 농기계의 조향방식은 주로 2륜 조향과 4륜 조향이 있는데, 2륜 조향은 앞바퀴만 조향되는 것으로 트랙터에 적용되고 4륜 조향은 전·후륜을 동시에 서로 반대방향으로 조향하여 진로를 바꾸어 주는 것으로 2차 대전 시 미군용 지프에 적용된 적이 있으며 승용관리기에 일부 장착되고 있다⁽³⁾. 자동차와 같이 고속 주행이 필요한 경우에는 조향감각 차이

와 고속 급선회 시 전복 위험성으로 인한 안전성 문제로 현재 적용되지 않고 있으나 농기계와 같이 상용속도가 저속일 경우에는 최소 선회 반경의 대폭적인 감소로 작업종류에 따라 많은 장점을 갖고 있다^(1,2). 특히 농기계의 경우 좁은 축사나 코너(corner)부분의 작업을 매끄럽게 할 필요가 있는데 이러한 경우에는 4륜 조향으로 선회반경이 작을수록 유리하다.

기존 기계식 구성에 의한 상시 4륜 조향인 농업용 로더

* 경일대학교 기계자동차학부(hdcho@kiu.ac.kr)
주소: 712-701 경북 경산시 하양읍 부호리 33

(loader)⁽¹⁾와는 달리 본 연구의 관리 작업차는 4가지 조향방식을 운전자의 선택에 따라 변경할 수 있도록 개발되었다. 4방식 선택적 조향장치는 전륜 2륜 조향, 후륜 2륜 조향, 역위상 4륜 조향, 동위상 4륜 조향을 선택할 수 있다. 그리고 조향을 차단하는 무조향 기능도 첨가하였는데 이는 광활한 농토에서의 작업 시 핸들의 흔들림을 방지하여 작업 직선도를 높이기 위함이다. 따라서 사실상 5방식이나 무조향은 조향을 하지 않는 기능이므로 4방식 조향으로 표현하였다. 이와 같이 본 연구의 농업용 관리 작업차는 작업의 종류와 주변여건에 따라 적절하게 운전 방식을 달리함으로써 작업효율을 높일 수 있고 작업이 불가능한 장소에서도 운전이 가능한 장점이 있다.

본 연구에서 개발한 4방식 조향장치는 유압실린더에 의한 파워 핸들 타입이며 솔레노이드 밸브와 별도 개발한 전자제어장치로 구성하였으며, 조향 방식을 바꿀 때는 너클에 부착된 영점 세팅 터치 센서에 의하여 바퀴의 중첩을 유지한 후부터 새로 선택된 조향방식이 자동으로 작동되도록 하였다. 본 연구의 4방식 선택적 조향장치의 동위상 4륜 조향은 대각선으로 진행할 수 있어 축사의 벽면에 차체가 닿아 있을 경우 차체의 후방이 벽과 전혀 충돌 없이 빠져 나올 수 있었다.

본 연구의 관리 작업차는 2,600rpm에서 최대 45HP를 낼 수 있는 4기통 디젤 엔진과 전진 5단과 후진 5단의 변속기능을 갖는 변속기로 구성되어 주행 테스트를 한 결과 최대 주행속도가 18km/h였으며, 본 연구에서 개발한 4방식 선택적 조향장치는 다양한 환경에서도 운전특성이 우수함을 알 수 있었다. 개발된 관리 작업차에 로더용 버킷(bucket) 작업기를 부착한 결과 축사용으로도 적합할 뿐만 아니라 소규모 건설용으로도 매우 적합한 것으로 판정되었다.

2. 본 론

2.1 4방식 조향장치

일반적으로 좁은 공간에서 작업을 하는 농기계의 경우 최소 선회반경을 짧게 할 필요가 있고, 벽면에 붙어 작업을 할 필요도 있기 때문에 조향 방법이 여러 가지가 있으면 유리하다.

본 연구에서 개발한 관리 작업차는 4가지 방식의 조향을 할 수 있도록 조향 시스템을 개발하였는데, 4가지 조향 방법은 Fig. 1과 같이 전륜 2륜 조향, 후륜 2륜 조향, 역위상 4륜 조향, 동위상 4륜 조향 등이 있으며, 작업 운전자가 4가지 중에서 원하는 임의의 하나를 일시 정지하여 선택할 수 있

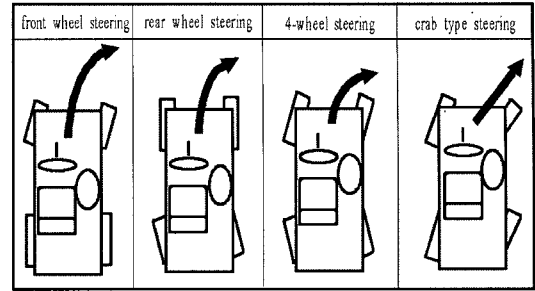


Fig. 1 Steering types of developed steering system

다. 선회 회전반경의 차이는, 전륜 2륜 조향의 경우에 가장 길고 다음으로는 후륜 2륜 조향이 길며, 역위상 4륜 조향이 가장 짧다. 역위상 4륜 조향은 전륜 2륜 조향에 비하여 약 40%정도의 최소 선회반경을 줄일 수 있으며⁽²⁾, 4WD인 동시에 2륜 조향일 경우에는 조향 시 전륜과 후륜의 회전수 차이가 생겨 바퀴의 미끄럼이나 차체에 충격이 생길 수 있지만 역위상 4륜 조향일 경우에는 조향 시 전륜과 후륜이 동일 궤도를 선회하기 때문에 회전수 차이가 생기지 않고 점유차 폭이 작아 건물 내부에서도 운전이 용이하다. 본 연구에서는 동위상 4륜 조향까지 가능한 구성을 함으로써 Fig. 2와 같이 동위상 4륜 조향이 벽면에서 빠져 나올 때 타 조향 방식에 비하여 벽면과 부딪치지 않고 쉽게 빠져 나올 수 있어 벽면 작업에서도 장점을 갖는다. 이러한 다양한 조향 특성이 필요한 것은 관리 작업차가 다양한 용도 및 상황에서 사용될 수 있도록 하기 위해서이다.

본 연구에서 개발된 4방식 조향장치의 유압 회로도도 Fig. 3과 같으며 신호의 동작원리는 전자제어장치(electronic controller) 위에 있는 선택 버튼(button)을 누르면 바

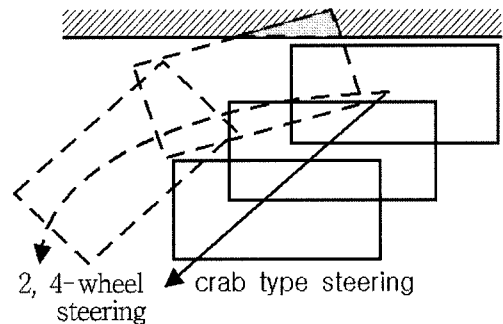


Fig. 2 Characteristics for wheel steering methods

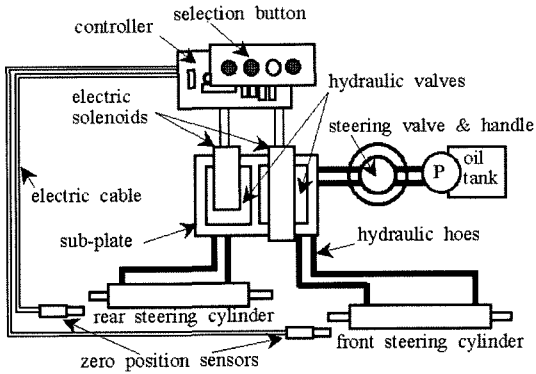


Fig. 3 Hydraulic circuit of the developed wheel steering system

퀴의 중립위치가 될 때까지 계속 조향되다가 전자제어장치가 위치센서(position sensor)로부터 원점 신호를 받은 후 2개의 솔레노이드(solenoid)를 제어하여 새로이 선택된 조향방식을 실현한다. 즉, 조향방식이 선정되면 위치센서가 바뀌가 중립이 될 때까지 새로운 조향방식은 실행되지 않고 전 단계의 조향 방식에 의하여 바뀌가 중립이 되기를 기다리는데, 이 때 바뀌는 핸들에 의하여 움직이며 운전자가 수동으로 핸들을 좌우로 회전시키도록 하였다. 위치센서에서 바뀌가 중립 위치에 도달하였다는 신호가 전자제어장치로 전달되면 비로소 선택된 새로운 조향방식이 실행된다. 전륜 2륜 조향이 선택된 경우에는 전륜 조향 실린더(front steering cylinder)만이 작동되고 후륜 조향 실린더(rear steering cylinder)는 작동되지 않게 되며, 후륜 2륜 조향이 선택된 경우에는 후륜 조향 실린더만이 작동되고 전륜 조향 실린더는 작동되지 않게 되는데 이 때 바뀌의 방향은 조향 핸들(조향륜:steering wheel)과는 반대 방향으로 작동하게 된다. 역위상 4륜 조향이 선택된 경우에는 전륜 조향 실린더와 후륜 조향 실린더가 동시에 작동하며 역시 후륜 조향 실린더의 작동 방향은 조향 핸들 방향과는 반대이다. 마지막으로 동위상 4륜 조향이 선택된 경우에는 역위상 4륜 조향과 마찬가지로 전륜 조향 실린더와 후륜 조향 실린더가 동시에 작동하는데 후륜 조향 실린더의 작동 방향이 조향 핸들 방향과 일치하게 되는 것이 차이점이며 관리 작업자의 이동은 편이하게 다르게 된다. 조향 액추에이터(actuator)는 유압 펌프(pump)이며 조향 실린더는 유압 솔레노이드 밸브(hydraulic solenoid valve)에 의해 유압 흐름이 제어되고, 솔레노이드 밸브와 유압 호스는 Fig. 4와 같은 서브 플레이트(sub plate)

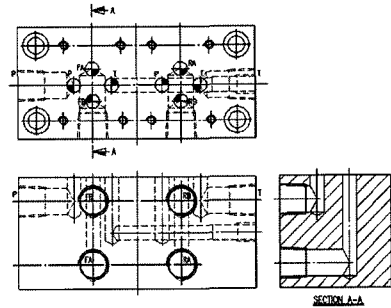


Fig. 4 Sub-plate for connecting solenoid valves

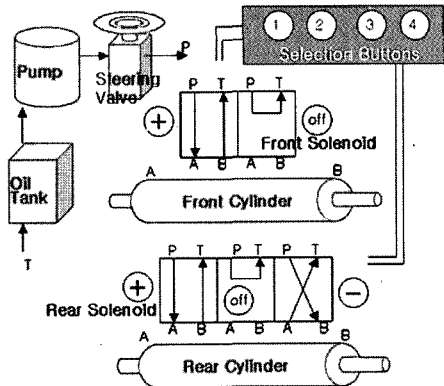


Fig. 5 Steering principle by gates in solenoid valves

에 연결된다.

Fig. 5는 유압오일의 흐름 순서와 작동원리를 설명하는 것으로, 오일은 오일 탱크(oil tank)로부터 유압 펌프에 의하여 가압되어 유량 밸브인 조향 핸들 밸브(steering handle valve)로 유입되어 조향 핸들의 회전량만큼의 유량만 흐르게 되어 솔레노이드 밸브와 서브 플레이트에 연결된 게이트들(gates)을 통하여 지정된 호스를 따라 흐른다. 게이트의 제어는 전자제어장치에 의하여 솔레노이드를 통하여 제어된다.

Fig. 5와 같이, 전륜 조향 실린더를 제어하기 위한 솔레노이드 밸브는 펌프 P로부터 A로 B에서 오일 탱크 T로 흐르게 하는 것과 펌프로부터 오일 탱크 T로 바로 전달시키는 2가지 역할을 하는 2방식 솔레노이드 밸브이며, 후륜 조향 실린더를 제어하는 솔레노이드 밸브는 펌프 P에서 A로 B에서 오일 탱크 T로 흐르게 하는 것과 역시 펌프 P에서 오일 탱크 T로 바로 흐르게 하는 것과 펌프 P에서 B로 A에서 오일 탱크 T로 반대로 흐르게 하는 3가지 역할을 하는 3방식 솔레노이드 밸브이다. 여기서, A와 B는 조향 실린더에 연결

되는 유압호스 입구를 의미하며, 유압 솔레노이드 밸브의 작동은 전자제어장치가 수행하게 되는데 선택된 조향 선택 버튼(steering selection button)에 따라 각각 지정된 원리가 다르게 설정되어 있다. 그리고 전자제어장치의 작동순서와 솔레노이드의 위치 지정방법은 전륜 2륜 조향이 설정되었을 경우에는 먼저 전륜과 후륜의 위치가 모두 중립인가가 확인 되면 전륜 솔레노이드가 (+)가 되도록 하고 후륜 솔레노이드는 (off)가 되도록 하며, 후륜 2륜 조향이 설정되었을 경우에는 바퀴 중립 확인 후 전륜 솔레노이드가 (off)가 되도록 하고 후륜 솔레노이드는 (+)가 되도록 하며, 역위상 4륜 조향이 설정되었을 경우에는 바퀴 중립 확인 후 전륜 솔레노이드가 (+)가 되도록 하고 후륜 솔레노이드는 (-)가 되도록 하며, 동위상 4륜 조향이 설정되었을 경우에는 바퀴 중립 확인 후 전륜과 후륜 솔레노이드가 모두 (+)가 되도록 하고, 무조향시는 바퀴 중립 확인 후 전륜과 후륜 솔레노이드가 모두 (off)가 되도록 한다.

2.2 관리 작업차

본 연구의 관리 작업차의 본래 목적인 전방 작업과 측방 작업을 용이하게 하기 위해서 전체 구성은 Fig. 6과 같이 수평 회전 틀 위에 상하 회전을 할 수 있도록 구성한다.

개발된 농업용 관리 작업차에 사용하고자 하는 작업기의 종류에 따라 별도의 연결대를 설치하여야 하는 것은 피할 수 없는 문제이다. 그리고 본 연구의 관리 작업차는 신기종이기 때문에 트랙터와 같이 다양한 작업기가 존재하지 않고 로더 작업기와 수초 제거 작업기가 있는데 로더 작업기의 경우 수요가 많으나 수초 제거기의 경우 대형의 경우에 적용

이 가능하여 중·소형의 경우에는 적용이 어려운 단점이 있다. 그래서 본 연구에서의 관리 작업차의 제작에 있어서 로더 작업기를 전용으로 설치하여 제작하였다.

본 연구의 관리 작업차에 로더 작업기를 설치할 경우 작업대의 좌우 회전은 불필요하여 상하 회전만 할 수 있도록 지지판 형태로 구성하였다. 로더는 버킷에 하중이 없을 때에 비하여 하중이 실리게 되면 무게 중심이 앞으로 이동하는 경향이 크기 때문에 하중을 실었을 때 무게 중심이 차체의 중앙에 오도록 설계하는 것이 좋고, 칼럼(column)은 차체의 후방에 존재할수록 최대 상승높이를 증가시킬 수 있어 유리하다. 그러나 차체의 무게중심을 너무 뒤로 치우치게 하면 버킷에 하중이 없을 경우 경사면 등판 시 불안정 상태가 될 수 있기 때문에 적절한 선택이 필요하다.

본 연구에서는 상용하중과 최대 상승높이를 기준으로 설계하였는데, 상용하중(W_B)을 7.84kN으로 최대 상승높이(H_{max})는 3,500mm(2단 붐 boom) 작동 시 4,420mm로 하였으며, 연구 1의 차축설계에서 안전도를 위해 본체 무게(W_M)를 29.4 kN으로 설정하였으나 여기서는 버킷에 실을 수 있는 하중을 최대로 하기 위한 설계이므로 실제 본체의 하중인 19.2kN을 기준으로 설계하며, Fig. 7에 본체의 무게중심과 붐의 치수를 나타내었다. 여기서, 차축간 거리(L)는 1,350mm이며, L_1 은 2단 붐에 의하여 변할 수 있는 것으로 1,150~2,070 mm이다. L_G 의 크기를 구하기 위하여 앞 차축에서의 모멘트 평형방정식을 적용하면 식 (1)과 같이 표현된다.

$$W_B L_G = W_M (0.7L) - W_B L_1 \quad (1)$$

따라서 붐의 2단 작동 시 최대 L_1 값 2,070mm에 대하여

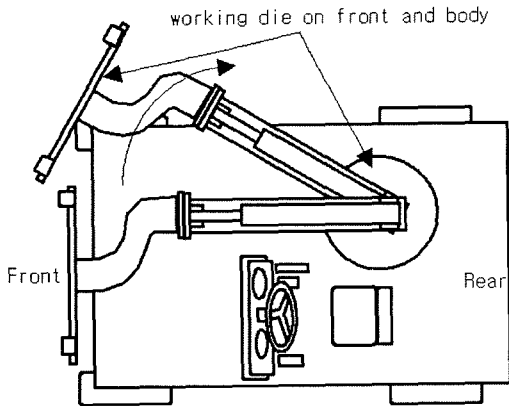


Fig. 6 Basic structure for agriculture working tractor

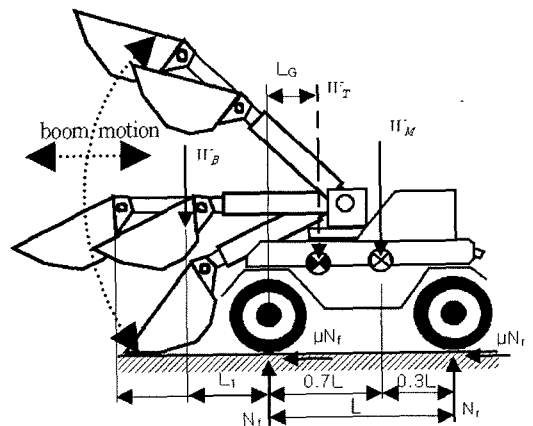


Fig. 7 Lifting situation of loader

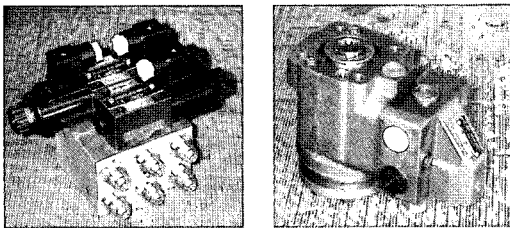
수평상태에서 본체의 무게중심은 식 (1)에 의하여 L_G 가 약 70mm로 되어 전후차축 사이에 존재하므로 복은 충분히 안정한 상태임을 알 수 있다.

3. 결 과

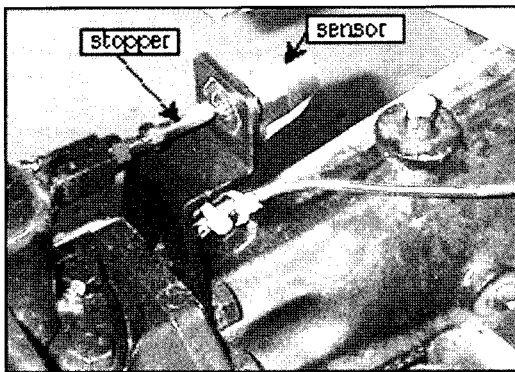
본 연구에서는 Fig. 3과 같은 유압회로를 바탕으로 작동 알고리즘과 중앙제어장치를 개발하여 4방식 조향시스템을 제작하였는데, Fig. 8은 사용된 핵심 부품인 서브 플레이트와 솔레노이드 밸브, 조향 실린더, 핸들 조향 밸브, 조향방식의 변환 시 바퀴의 중립 위치를 감지하는 위치 감지 센서와 설치 위치 등을 보여 준다. 위치감지센서는 안쪽 하우징에 고정되고 스톱퍼가 조향 너클 위에 설치되어 조향방향에 따라 직진방향일 때 센서를 접촉하도록 하였다.

4방식 조향 시스템의 중앙제어장치인 전자제어장치는 Fig. 9와 같이 PCB기판을 버튼 스위치 타입(button switch type)으로 버튼을 기판과 일체형으로 고정 설치하여 별도 배선이 불필요하게 하였다.

본 연구에서 제작한 관리 작업차의 사양은 Table 1과 같



(a) Solenoid valves, sub-plate, and steering valve



(b) Position sensor and stopper

Fig. 8 Component parts for 4-type wheel steering

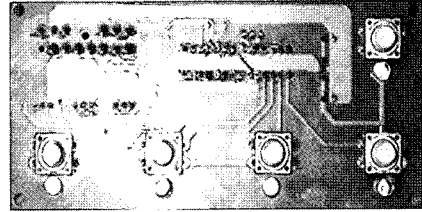


Fig. 9 Developed electronic controller

Table 1 Specifications of working tractor

specifications	unit	values	
1. max/min driving speed	km/hr	18/4	
2. forward/backward steps of transmission	step	5/5	
3. steering methods	step	4	
4. minimum steering radius	mm	2,000	
5. engine	horse power	ps/rpm	45/2,600
	maker	-	KIA motors
	model	-	S2
	cylinder	ea	4
	volume capacity	cc	2,209
6. size	fuel/capacity	l	diesel/60
	overall height	mm	2,200
	overall length	mm	3,100
	overall width	mm	1,500
	wheel base	mm	1,350
7. rated load of bucket	ground clearance	mm	300
		N	7,840

다. 작동 테스트 결과 본 연구의 핵심 개발기술인 선택적 4방식 조향장치가 잘 작동됨을 알 수 있었는데, Fig. 10(a)는 전륜 2륜 조향 상태, Fig. 10(b)는 후륜 2륜 조향 상태, Fig. 10(c)는 역위상 4륜 조향 상태, Fig. 10(d)는 동위상 4륜 조향 상태일 경우 바퀴의 조향 자세를 보여준다.

Fig. 11은 로더 작업기를 전용으로 장착하였을 경우의 관리 작업기를 보여주며, Fig. 12는 로더 작업기의 암(arm, 붐:boom)을 최대로 뽑았을 경우의 고공 작업상황을 보여준다. 이와 같이 로더 암의 길이를 조절할 수 있으면 차체를 조작하지 않고 작업면적을 넓힐 수 있으며 최대 상승 높이를 향상시킬 수 있다.

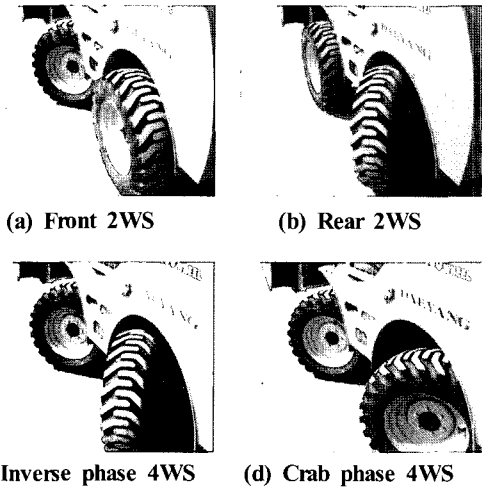


Fig. 10 Wheel states by selection types of 4WS

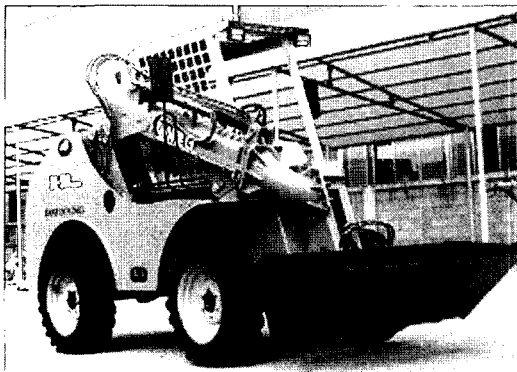


Fig. 11 Developed working tractor with loader unit



Fig. 12 Working test

4. 결론

본 연구의 4방식 조향장치를 적용한 관리 작업차 개발을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 솔레노이드 밸브의 적용 및 제어원리에 따른 유압회로를 설계하여 선택식 4방식 조향장치를 개발하였다.
- (2) 관리 작업차의 시작품 테스트 결과 4가지 방식의 조향 특성이 원활하게 이루어졌으며 농기계의 대부분 작업을 충족할 수 있을 것으로 평가되었다.
- (3) 개발된 관리 작업차에 고공 작업이 가능한 로더 작업을 부착한 결과 다양한 조향 방식의 선택은 좁은 공간에서도 작업이 원활하였고 전용 로더의 성능에 비견감을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) Cho, H. D., Yoon, M. C., and Kim, Y. J., 1998, "Development of Loader Equipped with 4WD and 4WS(I)(4 Wheel Driving Transmission)," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 7, No. 6, pp. 141~148.
- (2) Cho, H. D., Yoon, M. C., and Kim, Y. J., 1999, "Development of Loader Equipped with 4WD and 4WS (II)(4WS System and Construction of Loader)," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 8, No. 1, pp. 150~157.
- (3) Daeyang Machinery Company, 2002, *Development of Agricultural Working Tractor with 4-Type Wheel Steering System*, the Result Report of Industrial Base Technology Development Project.
- (4) Cho, H. D., 1997, *Development of 4 Wheel Driving Transmission for Loader*, the Project Report for Daeyang Machinery Company.
- (5) Editorial Department of Daekwang Publishing Company, 1991, *A Manual of Machinery Design, the Third Edition*, Daekwang Publishing Company
- (6) Waldron, K. J., 1995, "Terrain Adaptive Vehicles," *J. of Mechanical Design, Trans. of the ASME*, Vol. 117, pp. 107~112.
- (7) Luck, K., and Modler, K. H., 1995, "Burmester Theory for Four-Bar-Band Mechanisms," *J. of Mechanical Design, Trans. of the ASME*, Vol. 117, pp. 129~133.