

Traction Control System의 概要와 最近의 技術的 動向

Introduction of Traction Control System and a Recent Technical Trend

권 혁 진*
Hyuk Jin Kwon

1. 序 論

走行중 과도한 制動으로 인한 Wheel의 Lock나, 출발, 가속시에 驅動 바퀴의 Slip으로 인하여 Wheel이 安定한계를 초과하면 操縱性이나 安定성을 잃게 된다.

미끄러지기 쉬운 路面에서나 急制動시에 차량의 安定성, 조종성 및 제동거리의 최적을 보장하는 것으로는 Antilock Brake System (ABS)이 있으며, 차량에 이 System의 탑재율은 급속히 높아가고 있다.

한편, 加速시나 현저히 마찰계수가 다른 비대칭 도로(Split- μ 도로)에서의 선회주행시 Tire의 미끄럼을 방지하는 것으로는 Traction Control System(TCS)이 있으며, 일명 Acceleration Skid Control(ASR)이라고도 한다.

TCS는 1985년 Volvo 760(Turbo)에 탑재된 것이 실용화의 최초로 한 겨울에 완전히 동결된 노면을 160km/h 정도로 주행가능하게 하고 있다.

실용화면에서 볼때 TCS는 ABS와 병행 사용하는 것이 대개 보편화되어 있으며 현재로는 보급율이 낮으나 앞으로 보급이 증대할 것으로 예상된다.

여기에서는 Traction Control System의 原理와 效果, 制御方法의 비교 및 Simulation 계산에 의한 解析 例를 紹介하는 것과 동시에 最近의 技術動向 및 TCS의 展望에 대해 소개하고자 한다.

2. TCS

자동차 산업의 발달과 교통량의 증가는 운전자에게는 원숙한 운전능력을, 차량에 대해서는 조작성의 용이함을 요구하게 되었다.

차량의 운전은 운전자-차량-환경의 3요소로 구성되며 그림 1과 같이 加速, 操向, 制動시의 Closed-Loop Control을 보여준다.

Tire와 노면의 접촉은 차량과 환경사이의 초기단계이다.

운전자는 차량과 환경에 대해 조작자로서의 기능을 수행한다.

그러나, 제동시나 가속시 과도한 Wheel Slip으로 인하여 하나 또는 그 이상의 Wheel이 安定한계를 벗어나면 위험하게 된다.

TCS는 운전자-경험이 많은 운전자까지도 -가 긴박한 상황하에서 나타나는 심각한 문제를 스스로 해결할 수 없는 것에 대하여 安定性, 操縱性を 보장한다. 또한, 고속에서의

* 정회원, (주)인원개발 사시설계팀연구원

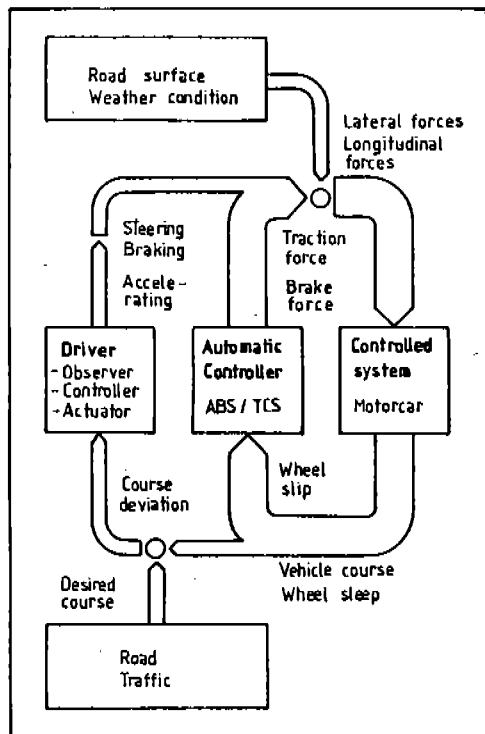


그림 1 ABS/TCS Closed- Loop Control

가속과 제동시의 安定性, 저속에서의 미끄럼 개선 특히 눈길, 빙판길에서의 출발같은 경우에는 더욱 더 중요하다.

2.1 TCS의 原理

차량이 가속시에는 제동시와 마찬가지로 구동바퀴와 노면사이에 Wheel Slip 이 나타나며, 마찰력에 의해 구동력이 얻어진다.

Slip의 크기는 Slip 율(S)로 표시하며 다음과 같이 정의된다.

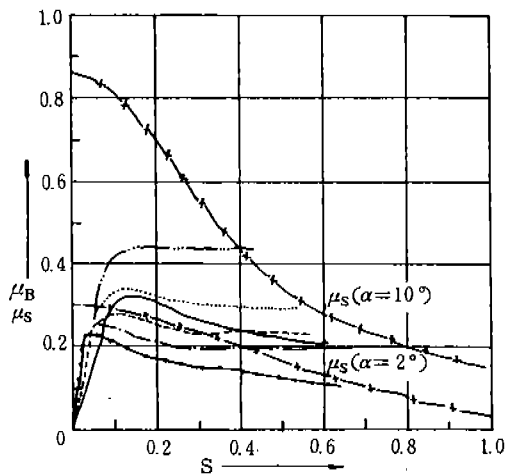
$$S = \frac{R\omega - V}{R\omega} \quad (1)$$

여기서, V : 차체 속도

ω : 구동바퀴의 각속도

R : 타이어의 유효반경

마찰력은 Tire와 노면사이의 Slip의 함수로, 그 상관특성은 노면상태 혹은 Tire 사양 등에 따라 변화한다.



μ_B : 마찰계수
 μ_S : 횡마찰계수
 α : Slip Angle

	Skid Path	Snow Covered Path	Ice Covered Path
Summer Tire	—	—	•••••
Snow Tire	/	—	—
Spike Tire	/	—

그림 2 $\mu - S$ 특성 예

그림 2는 마찰계수 (μ) 와 Slip 율 (S)의 관계를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 마찰계수는 Slip 율 0.05-0.2의 범위에서 최대가 되고 횡마찰계수는 Slip 율이 0일때 최대가 되어 Slip 율이 증가함에 따라 감소한다.

가속중의 구동바퀴 및 차체 전, 후 방향의 기본운동방정식은 구름저항등을 무시하면 다음과 같이 나타낸다.

$$I \frac{d\omega}{dt} = T_D - \mu W_D R \quad (2)$$

$$\frac{W}{g} \frac{dV}{dt} = \mu W_D \quad (3)$$

여기서,

- I : 바퀴의 관성 모멘트
- T_D : 구동 Torque
- W_D : 구동바퀴의 분담중량
- W : 차체중량
- μ : 마찰계수
- g : 중력 가속도
- t : 시간

(2)식은 Powertrain 구동 Torque (T_D)가 Wheel 의 구동 Torque ($\mu W_D R$)를 상회하면 잉여 Torque가 생겨 구동바퀴가 공전하는 것을 나타내고 (3)식은 차체의 가속도가 노면 접착력(μW_D)의 함수임을 나타낸다.

이상에서와 같이 Slip 율이 마찰계수의 최대치를 넘으면 마찰계수는 감소하고, 동시에 횡마찰계수도 감소하기 때문에 잉여 Torque 를 없애고, 공전하고 있는 구동바퀴의 속도를 適正한 Slip 율의 범위에서 제어하는 것으로서, 차량의 加速性, 操縱性 및 方向安全性을 確保하는 것이 가능하게 된다.

2.2 TCS의 効果

차량이 미끄러지기 쉬운 노면에서 출발 또는 가속하는 경우의 효과에 대하여 실차시험 결과 예를 인용하였다.

(1) 등판능력 : 그림 3은 두 가지 Split- μ 노면 조건에서 전륜구동차량과 후륜구동차량

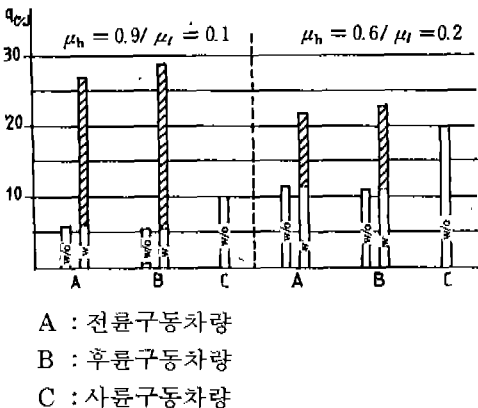


그림 3 최대등판능력 비교
(TCS장착차량 / 비장착차량)

에 TCS 를 장착한 경우와 장착하지 않은 경우에 대하여 최대등판 능력을 나타낸 것이며, 비교하기 위하여 조정이나, Lock 되지 않는 형태의 사륜구동차량에 대한 등판능력도 같이 나타냈다.

(2) 가속성 : 그림 4는 마찰계수가 작은 노면에서 출발이나, 가속을 할 때 일정시간내에 차량의 도달속도를 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 TCS 장착자는 Accelerator Pedal 을 완전히 밟아도 운전자가 신중히 Pedal 을 조작하는 것 이상의 높은 가속성을 얻는다.

따라서, 운전자는 Accelerator Pedal 조작에 신경을 쓰지 않아도 적정 가속이 가능하게 되며, 미끄러운 노면에서도 운전이 용이하다.

(3) 선회가속시의 조종성 : 그림 5는 마찰계수가 작은 노면에서 선회중에 급가속을 행할 때의 Yaw Rate 변화를 나타낸 것이다.

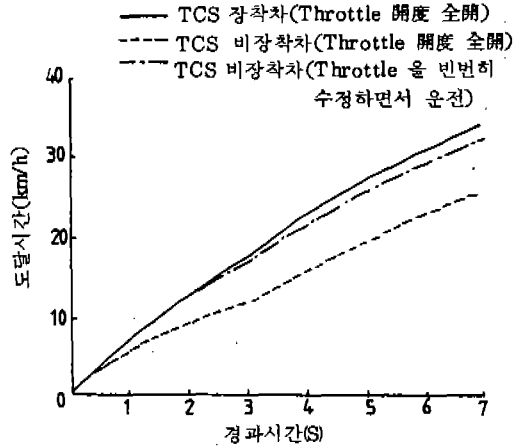


그림 4 출발, 가속시의 도달속도 비교

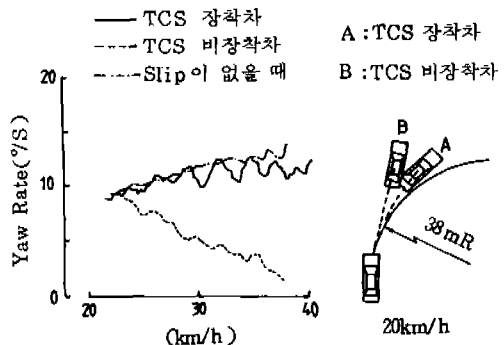


그림 5 선회가속시의 조종성

TCS 비장착차에서는 급격히 Yaw Rate 가 저하되며, 차량은 운전조작에 관계없이 선회원의 접선방향으로 향하려는 경향이 생긴다.

그러나, TCS 장착차에서는 Yaw Rate 의 저하가 작아 조종성을 확보할 수 있다.

(4) 경사자갈로에서의 방향 안정성 : 일반적으로 자갈로에서의 가속성은 TCS비장착차의 편이 좋은 경향을 나타낸다.

그 이유는 마찰계수의 최대치가 Slip 을이 큰 범위에서 발생하기 때문이다. 그러나, 그림 6 에서와 같이 횡 방향의 경사 노면에서 가속하는 경우 TCS 장착차에서는 약간의 조향수정으로 직진성을 확보하는 것이 가능하다.

— TCS 장착차
 - - - TCS 비장착차

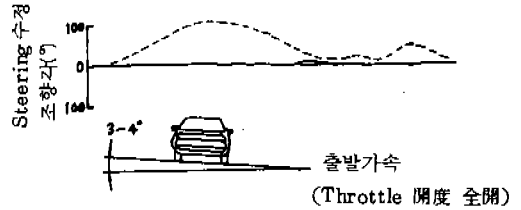


그림 6 경사자갈로에서의 방향안정성

표 1 TCS제어 방법과 요구 조건

Requirements Systems	Variable and adaptive locking ratio	Effectiveness with $Teng \leq \Sigma Troad$	Effectiveness with $Teng > \Sigma Troad$	Short delay in reducing excessive engine torque	Ability to decide between optimal traction and increased cornering force
Mechanical differential lock		YES, but unfavourable in cornering because of fixed locking ratio			
Visco-locking differential	WITH RESTRICTIONS: - locking ratio 0% is not available - time dependent locking ratio characteristic is not predictable				
Simple engine control system		YES, but no optimal traction because of select-low control	YES, but no optimal traction because of select-low control	- SHORT delay with intervention in ignition or injection	
Simple engine control systems combined with a visco-locking differential	WITH RESTRICTIONS: see above		YES	- LONG delay with actuating the throttle-flap	
Traction control only controlling wheel brakes	YES	YES	YES, but brake temperature problems in long-time controlling	SHORT delay by reducing the excess torque with the brakes	YES
Combined traction control with brake modulation and engine control	YES	YES	YES	SEE ABOVE and long-time reduction of excess torque by actuating throttle-flap	YES

2.3 TCS의 制御方法 비교

마찰계수가 최대가 되는 Slip 을 구간에서 구동바퀴가 작동을 할 수 있도록 하는 TCS 제어방법에는 다음과 같은 것이 있다.

- a) Engine Torque 조절
- b) 구동 Wheel의 제동
- c) Limited-Slip Differential 조정
- d) 구동 Wheel에서의 Engine의 Coupling 조정

이러한 제어방법들은 2-2 TCS 의 효과에서 설명한 주요기능을 얻기 위하여 다음의 요건을 만족해야 한다.

- 1) 0%에서 100%까지 변동 가능하고 동시에 Locking 가능한 Differential
- 2) 전달가능한 Road Torque 합 이하의 전달된 Engine Torque 를 갖는 효력
- 3) 전달가능한 Road Torque 합 보다 큰 전달된 Engine Torque 를 갖는 효력
- 4) 과도한 Engine Torque 를 줄이는 데 짧은 시간 지연
- 5) 최적 Traction 과 증가된 Cornering Force 사이의 판단능력

표 1은 지금까지 개발된 TCS 제어방법과 요건을 보여주고 있으며, 이들 중 Engine 및 Brake제어 병용 방식만이 모든 요건을 만족하는 것으로 나타내고 있다.

2.4 Simulation 解析 例

Traction Control System은 전술한 바와 같이 각종방식이 있지만 여기서는 Engine 제어방식(Throttle Valve제어 방식)과 Engine 및 Brake 제어 병용방식의 두 가지 System 에 대해 간단히 계산 해석 예를 소개한다.

(1) 계산 Model : 그림 7에 계산 Model을 나타냈다. Model 을 간소화 하기 위해 차량의 운동은 직진 방향으로 하고, 구동측 등의 Spring 계는 생략하였다. 제어 Logic은 Accelerator 개도 θ_0 와 각 차륜 속도를 입력하고, Throttle 개도 θ_1 과 좌, 우의 Brake

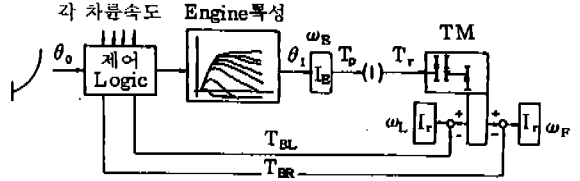


그림 7 계산 Model

Torque $T_{BL} \cdot T_{BR}$ 을 출력으로 하였다.

Engine 특성에는 흡기계의 지연을 고려하였으며, 구동륜에는 앞에서의 $\mu-S$ 특성(그림 2)를 고려하였다.

(2) 해석 결과 : 그림 8, 그림 9는 계산결과 나타낸 것이며, Tire 와 노면사이의 최대 마찰계수가 0.4 인 노면에서 출발한 경우이다.

1) Throttle Valve 제어 방식(그림 8) - Throttle Valve 제어 방식의 경우는 흡기계의 지연등에 의해 Engine 출력 저감에 대한 응답성이 나쁘므로 큰 Slip 이 과도하게 발생한다.

2) Throttle Valve 제어와 Brake 제어 병용 방식(그림 9) - Throttle Valve 제어방법의 응답개선을 위해 Brake 제어방식을 병용한 것으로, 그림에서 알 수 있는 것과 같이 커다란 Slip 저감효과를 알 수 있다.

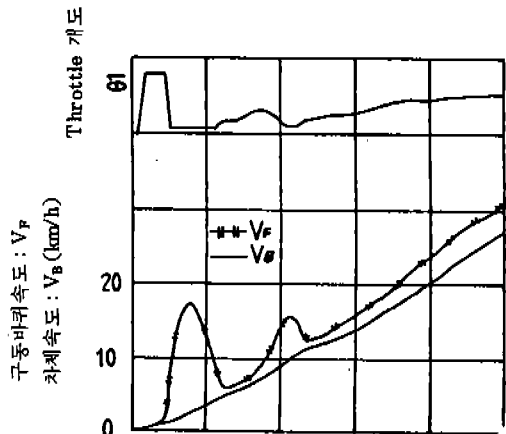


그림 8 Throttle Valve 제어 방식

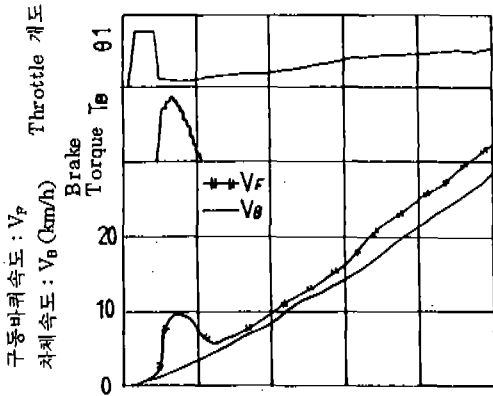


그림 9 Throttle Valve 제어와 Brake 제어 병용 방식

2.5 TCS의 適用 動向

현재 실용화되어 사용하고 있는 승용차용 Traction Control System은 대부분 전륜 또는 후륜 구동차를 대상으로 한 전자제어에 의해 그 기능이 실현되고 있으며 대개는 후륜 구동차량에 탑재되어 있다.

실용화 되어 있는 System 중 Engine 출력 제어 System 과 Engine 및 Brake 제어 병용 System에 대한 적용 예를 소개한다.

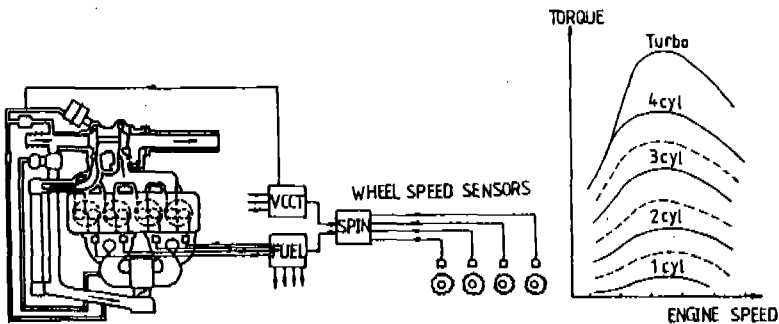
(1) Engine 출력 제어 System

이 제어 방식으로 실용화되고 있는 예로서는 Volvo 760 (Turbo) 및 BMW 735i 가 있다. Volvo 760은 연료 분사 조절 방식 및 Turbo Charger Waste Gate 제어를 행하고 있다(그림 10)

BMW 735i는 Throttle Valve 제어, 점화 시기제어 및 연료분사 조절 겸용 System 을 하고 있다.(그림 11)

Throttle Valve 제어 방식은 Brake 제어 방식을 포함한 다른 제어 방식과 비교하면 4 Cycle Engine 을 사용하는 경우에 있어서 흡기계의 지연이나 연소 Cycle 등의 이유로 인해, Engine 및 차량조건이나 노면상황 등에 따라 다르기는 하지만 잉여 Torque 의 저감 응답성이 낮은 경향이 있다.

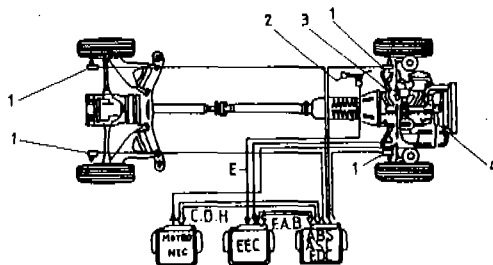
따라서, 어느 정도 이상의 Engine 출력을 갖



Reduction of Engine Torque in Stages

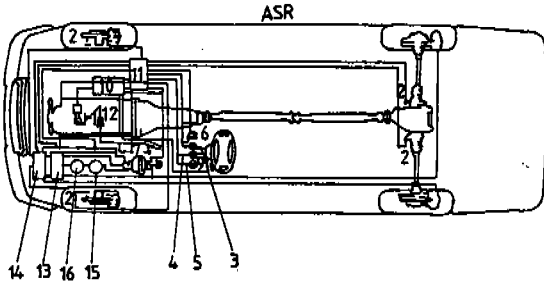
그림 10 Valve System (ETC)

- A. Decrease of Throttle Opening Angle
- B. Increase of Throttle Opening Angle
- C. Ignition Cutout
- D. Ignition Angle Adjustment
- E. Accelerator Position
- F. Throttle Specification
- G. Actuation of Throttle Position Motor
- H. Confirmation of Ignition Reactuated



- 1. Wheel Speed Sensors
- 2. Accelerator Pedal With Position Indicator
- 3. Throttle With Positioning Motor
- 4. Ignition System

그림 11 BMW System(ASC)



- | Electronic | Hydraulic |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Brake Switch | 13. Hydraulic Control (ASR) |
| 2. Speed Sensor | 14. " " (ABS) |
| 3. Indicator (ASR) | 15. 가압 Pump |
| 4. " (ASR) | 16. Pressure Reservoir |
| 5. " (ABS) | |
| 6. Skid Control Switch | |
| 9. Pedal Select Lever | |
| 10. Control Unit (E-GAS) | |
| 11. " (ABS/ASR) | |

그림 12 Benz System(ASR)

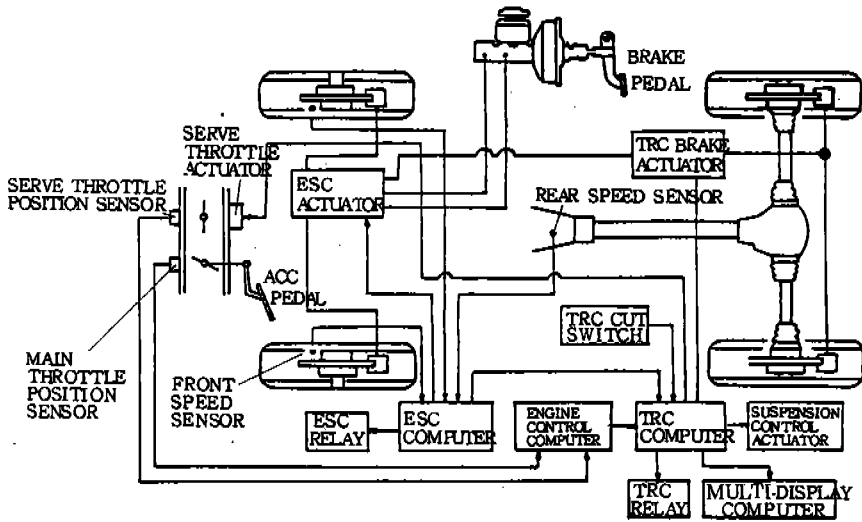


그림 13 Toyota Crown System(TRC)

는 차량의 경우에는 Throttle Valve 제어 방식은 다른 제어 방식과의 병행 사용이 일반적이다.

(2) Engine 및 Brake 제어 병용 System
Daimler - Benz 4 - Matic 차량과 Toyota Crown에 탑재된 TCS가 이 제어 방식에 해당된다. (그림 12, 그림 13)

이 System에서의 Engine 출력 제어는 대개 Throttle Valve 제어 방식이 사용되며, 연료 분사 방식이나 점화시기 제어 방식은 사용되지 않는다.

Brake 제어 방식은 Master Cylinder 와

Wheel Cylinder 사이의 유로에 차단 Valve를 설치하고, Motor Pump를 이용하여 유압원에 의해 Wheel Cylinder 유압을 제어한다.

표 2는 Toyota Crown에 탑재된 TCS의 주요 구성 부품과 그 기능을 나타낸 것이며, 그림 14는 미끄러지기 쉬운 상태에서 Accelerator Pedal을 밟았을 때, 구동륜(후륜)이 Slip을 시작하여, 후륜 속도가 제어 목표 속도를 넘으면 Computer는 Slip이 발생하는 것으로 판정하여 Control하는 것을 보여주는 한 예이다.

표 2 主要構成 部品과 機能 (Toyota Crown 예)

構 成 部 品	機 能
* 1. Main Throttle Position Sensor	Main Throttle Position 의 開度를 檢출하여, Engine Control Computer 에 입력한다.
* 1. Engine Control Computer	Main Throttle Position Sensor 및 Serve Throttle Position Sensor 에서의 信號를 처리하여, TCS Computer 에 보낸다.
* 2. Front Speed Sensor	좌, 우 前輪 각각의 차륜속도를 檢출하여, ABS Computer 에 입력한다.
* 2. Rear Speed Sensor	좌, 우 後輪의 평균차륜속도를 檢출하여, ABS Computer 에 입력한다.
* 2. ABS Actuator	TCS Brake Actuator 에 대하여, 제어유압을 공급한다.
* 2. ABS Computer	Front Speed Sensor 및 Rear Speed Sensor 에서의 信號를 처리하여, TCS Computer 로 보낸다.
* 3. TCS Cut Switch	TCS 를 On/ Off 시킨다.
* 3. TCS Indicator Lamp	운전자에 TCS 가 작동중인 것을 표시
* 3. TCS Off Indicator Lamp	운전자에 TCS 가 작동정지인 것을 표시, 또 System 이상을 경고
* 3. Serve Throttle Actuator	TCS Computer 에서의 제어신호에 따라 Serve Throttle Valve 의 開度를 제어
* 3. Serve Throttle Position Sensor	Serve Throttle Valve 의 開度를 檢출하여, Engine Control Computer 에 입력
* 3. TCS Relay	TCS Brake Actuator 와 Serve Throttle Actuator 에 전원을 공급
* 3. TCS Brake Actuator	TCS Computer 에서의 제어신호에 따라 후 2 륜의 Wheel Cylinder 유압을 제어
* 3. TCS Computer	Engine Control Computer 에서의 Throttle Position 信號와 ABS Computer 에서의 Speed Sensor 信號에 따라 주행상태를 판단하며, Serve Throttle Actuator 와 TCS Brake Actuator 에 제어 信號를 출력한다. TCS 이상시, TCS Off Indicator Lamp 를 점멸시킨다. Diagnosis Mode 가 변화함에 따라 이상개소의 진단결과를 표시
Neutral Start Switch	P. N Range 信號를 TCS Computer 에 입력한다.

* 1 은 Engine 과의 공용품을 나타낸다. * 2 는 4 륜 ABS 와 공용품을 표시한다.

* 3 은 TCS 전용품을 나타낸다.

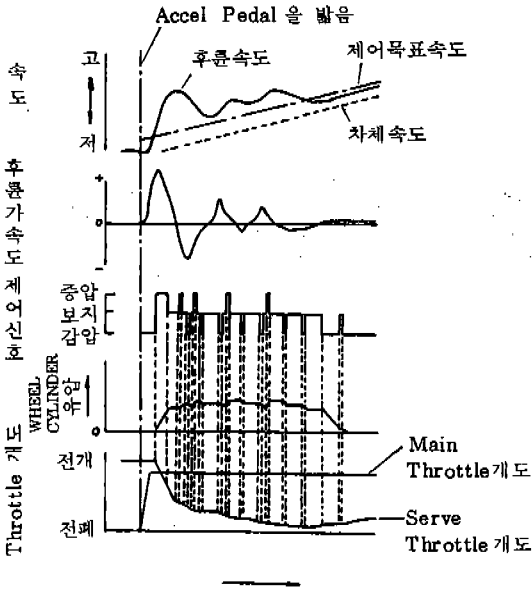


그림 14 차륜 속도제어

3. Traction Control System의 展望

Traction Control System의 일반요건에 입각한 다각도의 기술적 접근으로, 모든 주행 조건하에서 최적 Traction Control을 수행할 수 있는 것은 Engine Torque의 제어와 구동바퀴의 Wheel Cylinder 유압제어를 Microcomputer에 의해 작동되는 병용 System이라는 결론을 얻었다.

출발, 가속시에 발생하는 구동바퀴의 공전을 억제하고, 노면상태에 따라 최적 구동력을 확보하는 Traction Control System은 Anti-

lock Brake System이 연간 160만 -230만 Unit가 개발보급되는 상황으로 볼 때 점차 증가하여 1990년도에는 유럽의 경우 전차량의 15-20%가 장착할 것으로 예견된다. (표 3)

4. 참고문헌

1. Wolfgang Maisch, Wolf - Dieter Junner, and Alfred Sigl: ASR - Traction Control - A Logical Extension of ABS, SAE 870337 SAE 870337
2. Wolf-Dieter Jonner, Armin Czinczel: Upgrade Levels of the Bosch ASB, SAE 860508.
3. Hans - W. Bleckmann, Helmut Femel, Johannes Graber, and Wolfram W. Seibert: Traction Control System with Teves ABS Mark II, SAE 860506.
4. Syuji Ikeda, Masayuki Hashiguchi, Susumu Nishikawa, Kiichi Yamada: Trend of Traction Control Systems 自動車技術 1988, Vol. 42. 3.
5. Motor Fan. 1986. 5. p.247 - p.251 New Technique from Daimler - Benz 4 - Matic / ASD/ ASR Systems.
6. Automotive News: March 23, 1987: Teves Will Sell Traction - Control System in U.S.
7. Toyota Crown 新型車 解説書 1987. 9, 7.5 Brake
8. Automotive News: March 17, 1987, New Generation is Emerging in Anti-Skid Technology.

표 3 TCS의 시장 점유율 전망

지역	1984년	1988년	1993년	2000년
Western Europe	2% / 0%	10% / 0.3%	40% / 10%	90% / 25%
서독	5% / 0%	20% / 1%	55% / 20%	95% / 40%
North America	0% / 0%	3% / 0%	74% / 12%	90% / 30%

(註: 전체 차량 생산에서의 ABS/TCS의 비율임)