

眼振의 測定과 分析

朴相疇*, 金成煥**

*延世大學校 電氣工學科 教授(工博)

**서울市立大學 電子工學科 助教授(工博)

I. 序 言

身體의 回轉運動時 눈은 지금까지 凝視하고 있던 方向을 계속 유지할 수 있도록 回轉方向과 反對方向으로 움직인다. 만일 이러한 眼球의 對相作用이 일어날 수 있는 限界를 넘도록 身體의 回轉運動이 일어나면, 눈은 신속히 回轉方向과 같은 方向으로 움직여 새로운 凝視點을 구축한 다음, 다시 서서히 反對方向으로 對相作用이 일어나는데, 이와 같은 眼球運動의 連續을 眼振(nystagmus)이라고 한다.

眼振은 上述한 바와 같이 빠르고 느린 2개의 眼球運動(rapid and slow phase eye movement)이 反復되는 것이며, 眼振의 方向은 慣習의으로 빠른상 運動이 일어나는 方向으로 定한다.

眼振의 研究는 Crum Brown(1874)¹⁾以後 生理學的인 研究方法과²⁾ 工學的인 研究方法으로³⁾ 이 수 많은 研究가 進행되어 왔다. 이와 같이 모든 動物에 공통적으로 나타나는 眼振은 生理學的이고 臨床學的인 研究에 매우 重要한 部分을 차지하고 있으며, 특히 臨床에서 眩暈症 患者의 前庭機能 檢査에 有效하게 사용된다. 그러나 效率의인 實驗方法 및 데이터 分析方法의 不在로 質的이고 量的인 解析이 不可能하였다. 이를 解決하기 위하여 첫째 回轉刺戟을 精確하고 多樣하게 인가하기 위한 回轉의자의 制御方式 改善이 뒤따라야 하며, 둘째로 데이터 分析方法의 어려움이 克服되어야 한다. 이러한 問題點들이 근래 디지털 컴퓨터의 發達로 많은 進進을 보이고 있다.

여기서는 眼振이란 무엇이며, 眼振波形的 構成要素 測定方法, 波形的 分析方法, 前庭反射系의 모델링 등을 說明하고자 한다.

II. 眼振의 發生 및 種類

眼振이 일어날 때의 尤效한 刺戟은 回轉速度 자체보다도 半規管(semicircular canal)內的 內淋巴(endolymph)에 대한 角加速度(angular acceleration)이다. 따라서 一定한 속도로 회전運動을 하면, 이때 角加速度는 零이므로 眼振의 發生 現象은 없어진다. 그러나 갑자기 회전運動을 停止하면 慣性에 의해서 內淋巴의 流動方向이 바뀜으로 眼振은 前과 反對方向으로 잠시동안 계속되는데, 이를 前庭眼振(vestibular nystagmus)이라 한다.

이와 같은 身體의 回轉에 의한 眼振의 發生 이외에 內耳迷路(labyrinth)의 熱的刺戟(caloric stimulus)에 의해서 眼振이 發生하는데 이를 caloric nystagmus라 하며 前庭眼振으로 分類한다.

기차를 타고 있는 사람이 창문을 통하여 창밖의 視標를 볼 때 眼振이 發生되는데, 이와 같이 視覺刺戟에 의한 眼振을 視覺性 眼振(optokinetic nystagmus)이라 한다.

그밖에 刺戟 方法에 따라 spontaneous 眼振, alcoholic 眼振 등도 있다.

위와 같이 나열된 여러 가지의 眼振중에서 지금 현재는 前庭眼振이 가장 활발히 研究되고 있다.

前庭眼振은 生理學的으로 半規管의 刺戟에 의해서 運動이 發生하며, 機能은 網膜 위의 映像을 安定시키기 위하여 反射의으로 眼球를 反對方向으로 回轉시켜 머리 運動을 對相시켜 주는 發振運動이다. 眼球의 위치를 安定시키기 위해 들어오는 前庭速度 信號는 外眼筋(extra-ocular muscle)에 의해 眼球의 위치로 變換되기 이전에 神經系에 의해서 재차 集積되어야 한다.

머리의 양쪽에는 3개의 半規管이 거의 서로 垂直軸을 이루고 있다. 3개의 管들은 3쌍의 拮抗筋(antagonist)에 가해질 1리의 角速度를 分解하여 精確한 半回轉信號를 3축에 보내준다. 만일 동일한 方向으로 10°~15°의 회전이 계속 될 때에는 saccade가 眼球를 急速히

反對方向으로 안정시켜 새로운 視軸을 찾도록 해 준다. 이때 회전이 지속되면 그림 1과 같은 톱날파(saw-tooth wave) 眼球運動을 하게 된다.

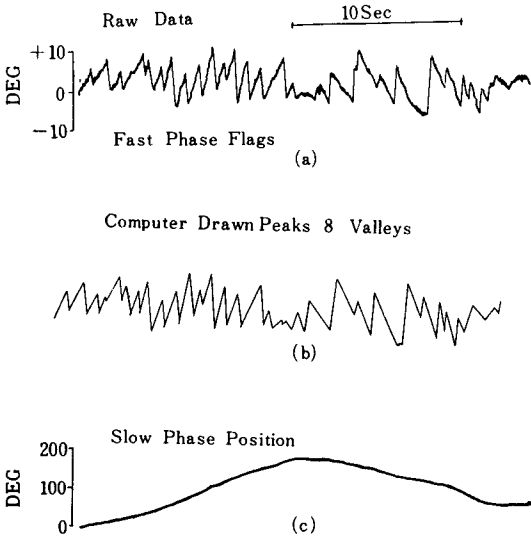


그림 1. 전형적인 眼振의 波形

활동성 추적운동(smooth-pursuit movement)은 머리 운동에 의한 網膜의 映像運動이 30deg/sec이하인 경우를 對相으로 하지만 300deg/sec가 넘는 머리 운동은 前庭系統에 의해 對相이 된다.

Ⅲ. 眼振波形的 構成 要素

前庭器官 刺戟에 의한 眼球運動의 形態는 그림 2와 같이 大別될 수 있다.

眼振分析을 위한 基本波形的 構成要素는 (1) 우측으로의 느린상 운동 후 좌측으로의 빠른상 운동, (2) 우측으로의 빠른상 운동 후 좌측으로의 느린상 운동, (3) 좌측으로의 느린상 운동 후 우측으로의 빠른상 운동, (4) 좌측으로의 빠른상 운동 후 우측으로의 느린상 운동 (5) 양측으로의 빠른상 운동, (6) 양측으로의 느린상 운동으로 되어 있다. 眼振은 그림 2의 (1), (2), (3), (4)와 같이 서로 다른 速度를 갖는 것이 特徵이다. 그러나 (5) (6)의 波形은 두 가지 成分의 速度가 같은 形態로써 中樞神經系에 異常이 있음을 나타내는 尺度가 된다.

一般的으로 前庭眼振에서는 빠른상 운동의 速度가

느린상 운동의 速度보다 적어도 3배 이상 클 때 眼振 사이클(nystagmus cycle)이라 定義한다.

Ⅳ. 眼振의 檢出 및 刺戟 發生 裝置

1. 眼振의 檢出

眼振의 檢出方法은 電氣生理學的인 方法인 E. O. G. (electro-oculo-graphy)測定法과 光電測定法 등이 있으나, 測定의 容易性에 의하여 근래에는 E. O. G. 測定法이 많이 사용되고 있다.

1877年 Dewar는 角膜(cornea)과 網膜(retina) 사이에는 약간의 電位差가 存在한다는 것을 發見 하였다. 이러한 電位差는 角膜과 網膜의 서로 다른 新陳代謝比率(metabolic rate)에 의해서 발생하며 오늘 날 이를 corneo-retinal potential 이라고 알려져 있다.

人間的 眼球는 일종의 電氣쌍극자(electric dipole)로써 網膜은 角膜에 대하여 陰極으로 帶電되어 있다.

眼球 주위의 組織은 피부에 부착되어 있는 電極(electrode)에 대하여 導體(conductor) 역할을 하며 眼球回轉時 임피던스가 변화하므로 해서 電極 사이의 電位變化를 가져온다. 이러한 電位의 變化가 眼球運動의 回轉角을 나타내게 된다. 일반적으로 E. O. G.의 分解能은 1 deg정도이다. 電極은 보통 Ag-AgCl 피부전극을 사용하며 부착방법 및 위치는 多數의 論文에 [1] [2] 說明되어 있다.

2. 刺戟 發生 裝置

實際적으로 眼振의 測定時 가장 문제가 되는 것은 前庭眼振을 발생시키기 위한 刺戟의 方法으로써 회전의자(rotation chair)에 의한 방법과 熱的 刺戟에 의한 방법 등이 있다. 여러 가지 形態의 회전의자 움직임이 前庭器官의 刺戟源으로써 사용되며 수직축에 대한 회전은 수평 半規管을 刺戟하므로써 水平對相眼振이 발생한다. 이러한 形態의 回轉은 정현파 혹은 일정 加速度로 구동시킨 후, 일정한 減速이나 급격한 충격적인 停止로써 構成된다. 또한 工學的으로는 다양한 형태의 랜덤자극이 前庭系의 동특성 추정기(identification)을 위하여 임상적으로 사용되고 있다. 환자의 靜的(static), 動的(dynamic) 위치가 前庭器官 實驗에 주요한 요소가 회전의 測定 시스템의 회전의자의 設計는 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 회전의자는 加速과 減速이 다양한 범위(1~200deg/sec²)에서 조정

眼振의 測定과 分析

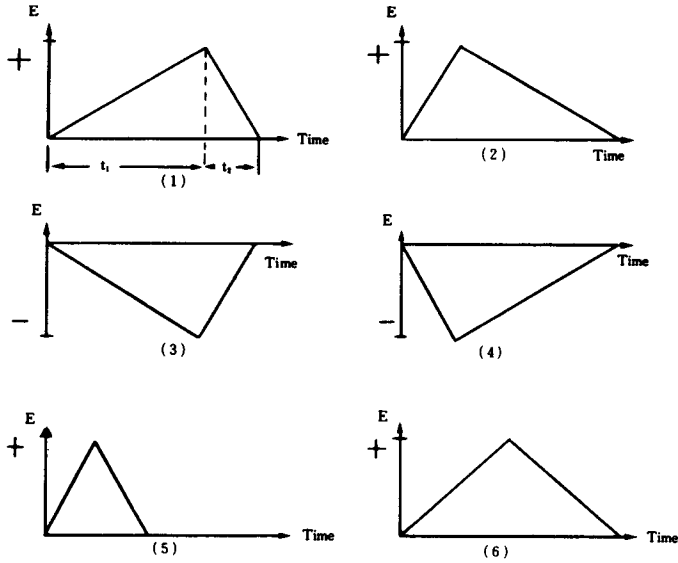


그림 2. 眼振波形的 구성 요소

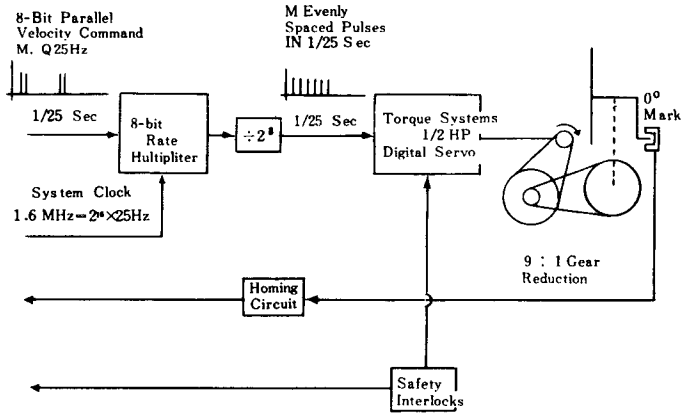


그림 3. 회전외자 제어시스템

되어야 한다.

参考的으로 1981年 MIT⁽¹⁾에서 개발된 마이크로컴퓨터에 의해서 制御되는 MAXII 회전외자 制御시스템의 블럭선도를 그림 3에서 볼 수 있다.

다음으로 열적자극에 의한 前庭眼振을 測定하려면 일정한 온도로 内耳迷路(labyrinth)를 刺戟하여야 한다.

이를 위하여 흔히 일정온도의 증류수를 순환시키는 装置를 사용한다.

표 1은 열자극에 의한 前庭眼振의 實驗節次를 보이고 있는 例이다.

표 1. Caloric nystagmus의 측정 절차

- Test 0-Calibrate right eye horizontal, left eye covered.
- Test 1-Calibrate left eye horizontal, right eye covered.
- Test 2-Calibrate right eye vertical, left eye covered.
- Test 3-Calibrate left eye vertical, right eye covered.
- Test 4-44°C caloric, right labyrinth stimulated.
- Test 5-44°C caloric, left labyrinth stimulated.
- Test 6-30°C caloric, right labyrinth stimulated.
- Test 7-30°C caloric, left labyrinth stimulated.
- Test 8-4°C caloric, right labyrinth stimulated.
- Test 9-4°C caloric, left labyrinth stimulated.

V. 眼振의 기록시스템 및 데이터 분석

1. 기록시스템

眼振이 發生時 電極에서 발생되는 전위는 약 $20\mu V$ (peak-peak)로써 기록기 및 A/D변환기 入力을 위하여 1V(peak)범위로 信號를 增幅해야 한다. 근육과 장비의 잡음은 증폭기의 대역폭에 크게 좌우되므로 직류증폭기 및 필터의 선정이 중요시되고 있다.

일반적으로 이득은 5×10 정도 요구되며 저주파 필터의 절점 주파수는 20~30Hz인 것을 사용하여야 한다.

그림 4는 眼振度(electro nystagmus gram) 기록시스템을 나타내고 있다.

2. 데이터 분석

자기 테이프에 기록된 각 채널의 眼振 데이터의 分析 節次는 實驗의 種類와 필요한 데이터의 推定 方法에 따라 다르고 컴퓨터 프로그램도 각 경우에 따라 달라지지만 일반적으로 다음과 같은 諸量의 解析이 필요로 된다.

(1) 眼振의 持續期間, (2) 빠른상 운동과 느린상 운동의 持續期間 및 振幅, (3) 眼振의 速度, (4) 眼振의 비

이트(beat), (5) 平均值 (6) 標準偏差, (7) 分散과 共分散, (8) 平均周波數, (9) 相關計數, (10) 回歸分析 (regression analysis)

그 밖에 實驗 目的에 따라 ISI分析⁽¹¹⁾(inter-saccadic-interval analysis) 및 前庭系의 동특성 추정을 위한 랜덤 入力 信號에 대한 응답의 스펙트럼 해석등이 수행되어 지고 있다.

VI. 前庭反射系(Vestibulo-Ocular Reflex)의 모델링

지금까지 앞 節에서 언급된 眼振의 測定데이터로 부터 실제적인 前庭系의 動作 기구를 가장 잘 표현하는 모델에 대한 연구는 과거로부터 현재까지 계속 수행되고 있으며 앞으로도 연구되어야 할 과제이다. 前庭系統의 刺戟에 의한 前庭眼振은 半規管으로 부터 시작하여 眼球, 眼球組織, 眼筋肉 등으로 구성된 眼球 플랜트에서 끝나게 된다.

이러한 制御 기구는 神經生理學的인 근거를 가장 잘 반영하는 동시에 공학적인 實驗 結果를 만족시키는 차원에서 모델링되어야 한다. 일반적으로 모델링은 느린상 운동과 빠른상 운동으로 나뉘어져서 수행되고 있다.

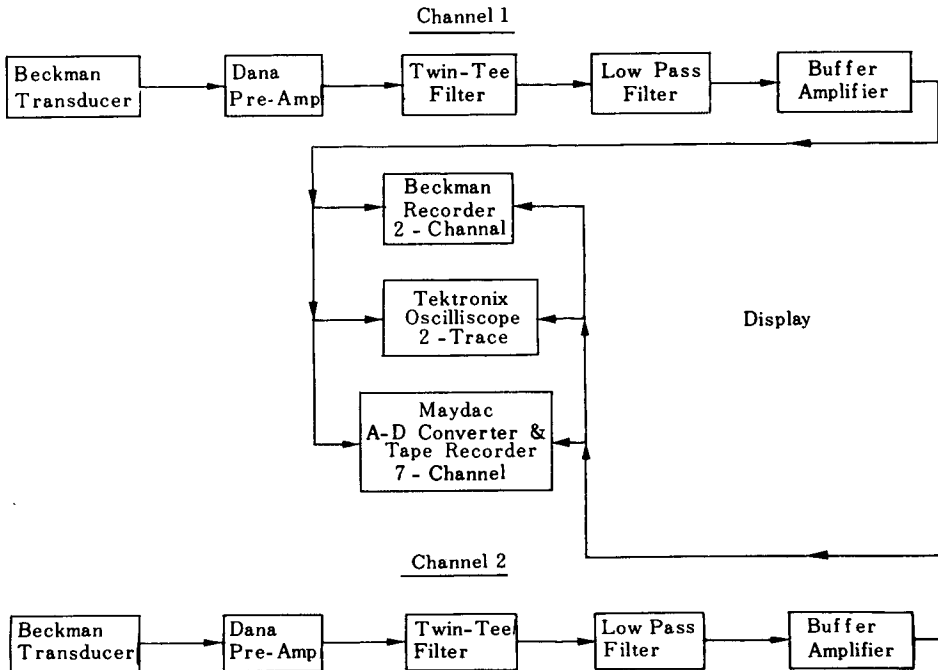


그림 4. ENG 기록 시스템

眼振의 測定과 分析

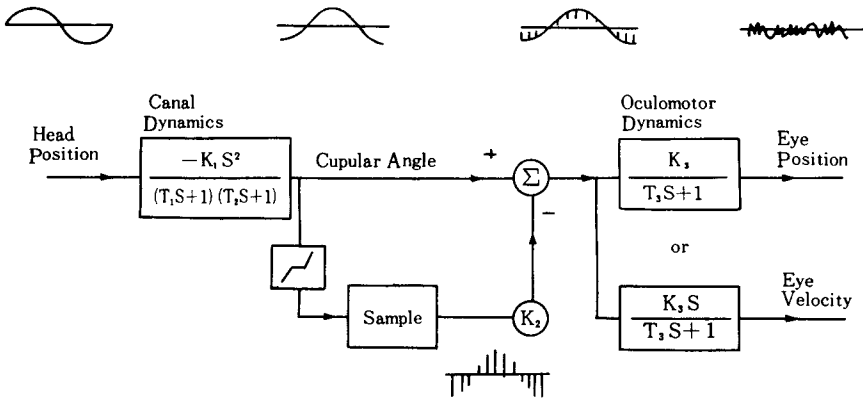


그림 5. 전정 반사계의 모델

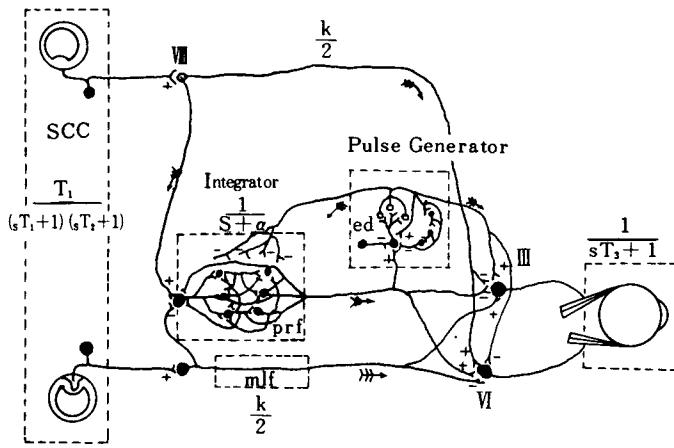


그림 6. VOR 시스템의 神經 組織網

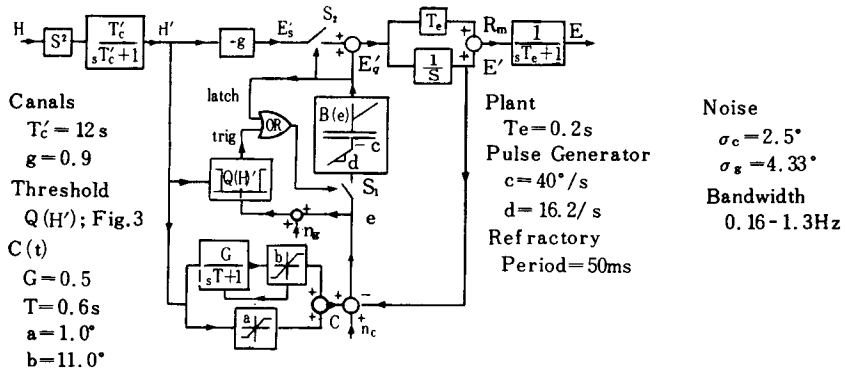


그림 7. VOR 시스템의 모델

빠른상 운동과 느린상 운동은 서로 反對方向으로 생기며 頻度와 振幅은 半規管의 出力이 클수록 높고 커진다. 빠른상 운동이 전혀 없을 때 느린상 운동의 응답은 빠른상 운동이 있을 때의 느린상 운동에 비해서 위상이 앞서 있는 것이 특징이다.

그 밖의 過渡特性和 周波數 特性을 檢討하여 Sugie 와 M. Jones^[12] (1971)는 그림 5와 같은 모델을 발표하였다.

그 후 K. S. Chun과 Robinson^[13] (1978)은 빠른상 운동은 腦橋에서의 국소피드백루프(loop)에 의해서 발생된다는 提案과 함께 前庭反射系(그림 6)의 모델을 그림 7과 같이 提示하였다.

Ⅶ. 結 論

지금까지 眼振이란 무엇이며 發生原因과 測定法 및 데이터 分析, 前庭反射系의 모델링 등 基本的인 사항에 대하여 考察하였다.

앞으로의 課題는 眼振 측정장비의 精密性을 향상시키고 小形化가 요구되며 병원에서 임상적으로 대단위의 前庭實驗을 수행할 수 있게끔 眼振分析의 알고리즘(algorithm)의 개발이 요구된다.

또한 工学者와 生理学者는 의사들의 실험 데이터를 토대로 가장 정확한 모델을 만들어서 人間工學과 관련된 視覺系統 設計 및 로봇의 눈 등을 고려하는데 도움이 될 수 있는 기초가 되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

[1] Crum Brown, A. : On the sense of rotation and the anatomy and physiology of the semi-circular canals of the inner ear, *J. Anat. Physiol* (London) 8, PP. 327- 331, 1874.
 [2] Honrubia, V. and Baloh, R. W. : The patterns of eye movements during physiological vestibular nystagmus in man, *Trans. Am. Acad. Ophthalmol. Otolaryng*, 82, PP. 339-347, 1976.
 [3] Nagle, D. W. : An unusual vestibular nystagmus

elicited from normal subjects, *Ann, Otol, Rhinol, and Laryngol.*, 76 : 477, June 1967.
 [4] Landers, P. H., and Taylor, A. : *Transfer Function Analysis of the Vestibulo-Ocular Reflex in the Conscious Cat. In : Basic Mechanisms of Ocular Motility and their Clinical Implications*, PP. 506. Lennerstrand, G, Bach-Y-Rita, P. (eds.). New York; Pergamon Press, PP. 506, 1975.
 [5] Marg, E., : development of electro-oculography-standing potential of the eye in registration of eye movement, *A. M. A. Arch. Ophth*, 45, 169, 1951.
 [6] Shackel, B., : Pilot study in electro-oculography, *Brith. J. Ophthal.* 44 : 89, 1960.
 [7] Kim, S. H. : *Control Characteristics Analysis of the Oculomotor System using Bandlimited Random Signals*, Ph. D. Thesis, Dept. Electrical Engr., Yon Sei Univ., 1980.
 [8] Briggs, P. A. N., et al : Correlation analysis of process dynamics using pseudo-random binary test perturbations, *Proc. Inst. Mech. Eng.* 179, PP. 37 - 51, 1965.
 [9] Wall, C, O'Leary, D. P and Black, F.O. : System analysis of vestibulo-ocular system response using white noise inputs, *Proc. Sixth Ann. Meeting of the Society for Neuroscience*, 1052, Toronto, 1976.
 [10] Tole, J. R, et al : A microprocessor-controlled vestibular examination chair, *IEEE. Trans, BME*, vol. 28, No. 5 , pp. 390-396, 1981.
 [11] Cheng, M., & Outer bridge, J. S. : Inter-Saccadic interval analysis of vestibular nystagmus, *Acta Otolaryng*, 77 : 348-353, 1974.
 [12] Sugie, N and Jones, G. M. : A model of eye movements induced by head rotation., *IEEE Trans, on SMC*, 1, 251, July 1971.
 [13] Chun, K. S., Robinson, D. A. : A model of quick phase generation in the vestibulo ocular reflex, *Biol. Cybernetics*, 28, 209-221, 1978.

♣ 用 語 解 說 ♣

Modem: A contraction of the words "modulator-demodulator." A modem is a device for performing necessary signal transformation between terminal devices and communication lines. They are normally used in pairs, one at either end of the communication line.