

精密計測에 利用되는 센서 (I)

韓 應 教
 <漢陽大 工大 精密機械科>

1. 概 要

最近 센서(sensor)와 計測技術과의 相關關係는 점점 強해져 오고 있다. 여기서는 우선 센서의 現狀과 問題點을 밝힌 다음 센서의 將來像에 대하여 살펴, 앞으로의 센서가 나아가야 할 路로써 生體의 感覺器官으로부터 배울 點이 많다는 것을 說明하고 精密計測에 흔히 잘 利用되고 있는 몇가지의 센서에 대해서 記述하였다.

1.1. 工學的 传感器的 現狀

요사이 센서라는 말이 자주 使用되어지게끔 되었다. 센서 혹은 sensing device는 測定하고자 하는 物理量을 어떠한 變換機能을 利用하여 測定可能한 量으로 變換하는 장치이다. 센서의 研究開發이 이제까지 보다도 한층 더 活發하게 進行되어지고 또한 實際로 모든 電子機器 속에 짜 넣어 지게끔 된 背景에는 여러가지의 物理現象을 全部, 自動적으로 制御하고자 하는 人類의 꿈이 있는 것으로 생각된다. 人類의 歷史를 되돌아 보면 第一次産業革命에서는 機械의 導入에 의한 筋肉勞働의 代替로 일량의 增大를 가져왔다. 第二次産業革命은 센서로써 頭腦勞働의 代替와 擴大를 꾀하고자 하는 것이다. 물론 센서만으로는 頭腦로서 바꿀 수 없다. 센서로 感知한 信號를 源泉으로 制御하지 않으면 안된다. 이러한 制御를 取扱하는 것이 말할 것도 없이 電子計算機 혹은 電子回路이다. 따라서 電子計算機(마이크론)의 出現이 없었더라면 센서가 이만큼 까지 使

用되어지지는 못했을 것이다 라고 하여도 過言은 아니다. 人間은 五感(視覺, 聽覺, 味覺, 嗅覺, 觸覺)을 통하여 外界로부터의 刺激을 느끼며 頭腦는 그것에 應答하여 各器官에 指令을 내리는 任務를 가지고 있다. 말하자면 電子計算機가 頭腦의 代身이 되며 外部로부터의 刺激과 頭腦사이의 인터페이스가 되는 것이 센서이다. 따라서 制御回路에 信號를 보낸다고 하는 [意味로서는 센서는 物理量을 電氣量으로 變換하는 것이 되지 않으면 안된다. 物理量 相互間의 變換을 행하는 장치도 있으나 여기서는 어디까지나 最終적으로 電氣量으로 變換되어지는 것을 取扱한다.

센서의 素材로 될 수 있는 것은 半導體, 磁性體, 誘電體, 化學物質 등 모든 物質에서 찾을 수 있는 것이 可能하지만, 가장 많이 쓰여지고 있는 것은 半導體이다. 모든 센서가 半導體로 指向하고 있다고 할 수 있다. 이것은 일찌기 트랜지스터가 眞空管에 代替되어진 것으로도 推察할 수 있다. 실리콘 半導體集積 回路技術의 波及效果로서 現在는 모든 半導體材料의 微細, 精密加工이 可能하게 되어 半導體素子の 信賴性은 한층 向上하고 있다. 덧붙여서 最近에는 「世界의 半導體研究者의 눈이 半導體센서에 쏠리고 있다」고 할 수 있을 정도로서 이것은 반드시 誇張은 아니다. 센서關係의 特許出願件數의 推移를 보아도 分明하다. 1963년에는 半導體센서의 出願件數가 300件이었던 것이 1974년에는 1000件에 달하여 現在는 이 以上인 것으로 推測된다.

人間의 五感은 극히 精巧한 센서이다. 表1에

는 人間의 五感과 센서 및 檢出에 必要한 物理 現象을 對比한 것이다. 生體(人間)가 가지고 있는 感覺機能과 센서의 性能을 比較하여 보면 어떠한가? 比較的 開發이 進行되고 있는 것으로 생각할 수 있는 光 센서를 例로 들어 보자. 그림 1은 人間의 눈과 光 센서를 比較한 것이다. 이 그림으로부터 보면 光 센서 쪽이 優秀한 것 같지만 아직은 生體에 미치지 못하는 點도 많다. 예를들면 물건을 立體的으로 感知한다고 하는 點에서는 現在의 撮像장치로는 아무래도 미치지 못하는 點이다. 또한 光子(photon) 數個에 대해서도 느끼는 人間의 視神經은 半導體光檢出器와 比較도 되지 않을만큼 高性能이다. 人間의 五感의 代替로서 센서를 使用하는 이상에는 센서의 性能은 五感의 性能과 同等한 것이 바람직하다. 이러한 意味로 아직도 센서의 性能向上은 必要하다. 특히 嗅覺에 대한 가스 센서 등의 뒤떨어짐은 各 研究者의 골치거리이며 味覺 센서에 이르러서는 人間의 코에 依存하고 있는 것이 現狀이다 基本的 變換機마저 發見되어 있지 못하다.

光 센서, 溫度 센서, 壓力 센서, 磁氣 센서 등 單

體의 센서로서 그 開發이 어느 程度 完成에 도달한 센서는 一點 센서(one-point sensing)에서 二次元 혹은 三次元 센싱으로 移行하고 있다. 結局 센서를 二次元的으로 配置함으로써 面으로서의 計測이 可能해진다. 더욱이 센서를 集積化함으로써 從來 단지 變換機能만을 갖는 센서에서 보다 複雜한 또한 複合된 機能을 갖는 센서의 成形이 可能해진다. 센서의 集積化, 機能化로 代表되는 것이 團體撮像장치로서 알려져 있는 CCD이며 이 밖에 溫度 센서, 壓力 센서 등 集積化, 機能化에의 研究가 活潑히 進行되어지고 있다.

센서 應用의 立場으로부터 살펴보자. 컴퓨터에 의한 自動制御라는 觀點으로부터는 工業計測 制御 등이 떠오른다. 石油, 化學, 電力, 鐵鋼 등의 프로세서 產業에서는 計算機制御에 의해 얻어진 情報을 피이드백하여 品質, 工程의 管理와 安全에 有用하게 쓰고 있다. 이것들은 특히 工業用로봇으로 代表되어진다. 이 밖에 自動車 등의 交通制御, 더불어 電車, 航空機, 船舶의 運行制御 등 넓은 分野에서 自動制御가 行해지고 있다. 또한 情報處理, 通信, 科學技術計測 등에서도 센서의 必要性이 現實로 나타나고 있는 것은 말할 나위도 없다. 더욱더 센서는 現在 人類가 안고 있는 커다란 社會的 課題와 密接한 關係를 가지고 있다. 그 代表例가 公害, 保安 등이며, 人工衛星으로부터의 資源探査 등은 將來의 國家의 土地利用에 관한 重大한 情報을 갖다 줄 것이다. 또한 센서는 醫療에의 應用에서 볼 수 있듯이 센서를 產出한 人間自體의 計測, 檢知에도 利用되기 始作하여 人類의 健康管理에 없어서는 안 될 存在로 되어가고 있다. 더욱이 人類의 꿈을 실은 宇宙의 平和利用에 관해서는 月面探査, 우주 왕복선(space-shuttle) 計劃 등 센서가 없으면 이를 수 없는 것이다. 이 경우는 차라리 宇宙船全體가 高性能 센서의 集合體로 되어 있다고 말할 수 있다.

표 1. 사람의 五感과 半導體 센서

사람의 感覺	센서	物理 現象	備 考
視 覺 (눈)	光 센서	光起電力效果 光導電效果 光電子放出效果 광토폴리效果	集積化로 移行
聽 覺 (귀)	壓力 센서 磁氣 센서	壓電效果 磁歪效果, Hall 효과	今後集積化로 移行
觸 覺 (皮膚)	壓力 센서 溫度 센서	壓電效果, 歪抵 抗效果 熱抵抗效果, 光 電效果	
嗅 覺 (코)	가스 센서 溫度 센서	吸着效果	安定성에 問題가 있어 本格的인 實用化에는 數年後
味 覺 (혀)	맛 센서	未開發	새로운 變換機能의 發見이 必要

1.2. 센서의 未來像

여기서는 (1) 센서 技術의 새로운 動向, (2) 센서에의 새로운 필요성의 2項目으로 나누어 수

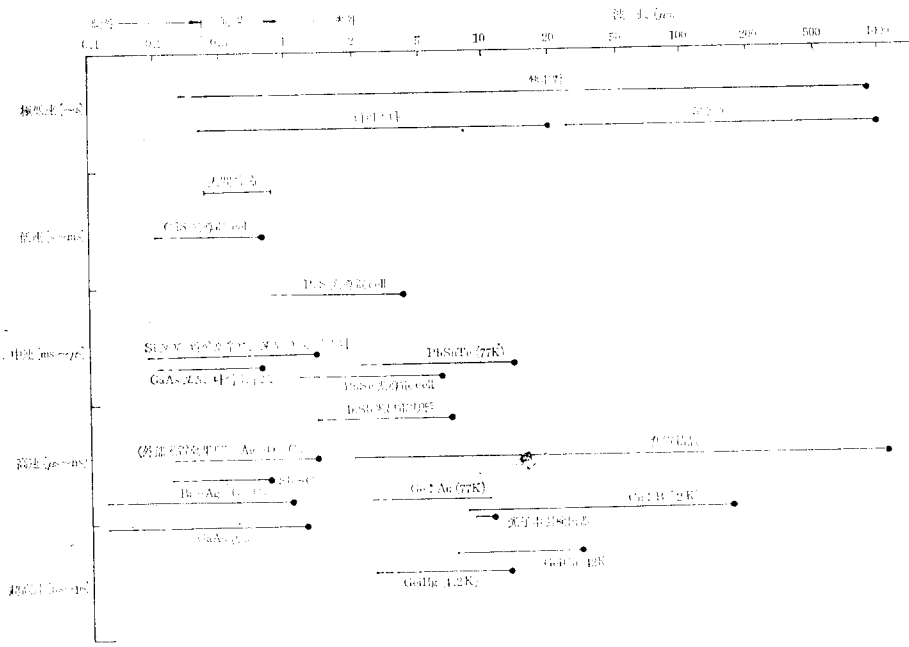


그림 1. 光센서의 波長感도와 應答速度

後 센서가 나아가고자 하는 길을 分明히 한다.

(1) 센서의 새로운 動向

센서는 現在, 大部分의 分野에서 單體로서의 開發은 끝나(물론 가스, 濕度센서와 같이 뒤진 分野도 있다) 새로운 形體로서 센서의 機能化와 集積化가 進行되고 있다. 機能化, 集積化가 갖는 意味는 단지 小形化, 合金化한다는 것에 머무르지 않는다. 요컨대 하나의 센서로서의 機能 뿐만 아니라 增幅, trigger 라는 機能들도 겸하여 갖추고 있다. 예를들어 이미 說明한 CCD 固體撮像장치, 混成 IC 壓力센서 등이 이것에 對應한다. CCD, MOS 固體撮像장치, visicon 은 원래부터 포토다이오드의 合金化, 抵抗溫度計나 호울(Hall) 素子, 더욱이 超音波 등에 의한 영상-센서(image-sensor)가 現實로 나타나 應用되고 있다.

또 하나의 새로운 움직임은 전적으로 새로운 原理에 의한 센서의 開發이다. 예를 들면 조셉슨 素子에 의한 物理量의 檢出은 從來의 常識을 훨씬 넘는 높은 精度로 행할 수 있어 物理定數

의 大改訂에까지 미치고 있다. 이 정도의 大發見까지는 가지 않더라도 이제까지의 固定概念을 버린 새로운 原理에 의한 센서의 開發이 크게 期待되어진다. 특히 人間の 嗅覺, 味覺 등에 對應하는 分野에서의 센서의 發見이 期待된다.

(2) 새로운 必要

이 項에서는 특히 센서에 대한 새로운 필요성 을 살펴본다. 센서에의 필요성이 높아가는 것은 單體로서의 센서의 開發이 어느 程度 進行되었기 때문이기도 하지만 現狀態로는 오히려 應用面으로부터의 要請이 강하여 센서의 開發이 뒤따라지 못하는 면도 있다. 새로운 必要로는 醫用, 公害, 環境資源 計測制御, 自動車, 情報處理의 分野를 들 수 있다.

i) 醫用

의료공학(Medical Engineering, ME)이라는 말로 代表되듯이 近年 醫療技術 및 醫療機器에 대한 센서의 役割은 매우 重要的 位置를 차지하고 있다. 患者의 診療나 生體의 現象解析에는 우선

生體의 情報을 把握할 必要가 있다. 生體를 計測할 때는 檢出部를 生體表面에 設置한다. 檢出部를 生體內에 挿入한다. 生體의 外部에서 非接觸으로 計測한다. 生體의 一部를 샘플링하여 測定하는 등의 경우가 있다. 특히 檢出部를 生體內에 挿入하는 경우에는 센서의 超小形化가 바람직하다. 또한 열, 영상, 초집속素子를 利用한 心電波形의 測定 등 非接觸으로 測定할 수 있는 技術이 發達해 온 것은 注目할 만한 가치가 있다. 더욱 情報處理와 X線超音波, 赤外線, 放射線 등을 利用하여 二次元, 三次元像으로서 捕捉할 수 있게 되어 오고 있다.

從來까지 醫療는 특히 病에 걸린 사람에 대하여 行해져 왔으나 非接觸으로 容易하게 生體計測이 可能하게 된다면 個人的 健康管理面에서도 커다란 威力을 發揮하리라고 期待된다.

ii) 公害

現在 公害라고 불리우는 것으로는 騒音, 大氣汚染, 水質汚濁, 惡臭, 地盤沈下, 土壤汚染, 振動이 있다. 이 가운데 騒音, 地盤沈下, 振動의 計測은 比較的 容易하게 行해지고 있으나 惡臭 등에 대해서는 關係官廳의 職員이 코로써 알아내고 있는 것이 現狀이며 公害監視, 또한 公害撲滅을 위해 公害關係 센서의 開發을 서두르지 않으면 안된다.

iii) 環境資源

資源深査, 環境保全 등이 未來 人類의 生存에 關係되는 커다란 問題로서 클로우즈업 되어 오고 있다. 具體的으로는 人工衛星으로부터의 計測이며 地表上의 鑛物, 植物, 大氣의 狀態, 海洋의 狀態 등의 觀測이 對象이 된다. 이밖에 農作物의 種類, 生育狀態, 冷害, 旱魃 등의 影響, 山林의 狀況 등도 알 수 있다.

對象物은 각각 電磁波에 對하여 固有의 波長特性을 가지고 있어, 基本的으로는 이 分光特性을 適當한 波長範圍에서 測定한다면 對象物이 어디에 있는지 어떠한 狀態에 있는지를 判定할 수 있다. 이 技術은 이미 紫外, 可視, 赤外, 마이크로波의 넓은 波長 領域에서 確立되어 있다. (multi spectrum scanning)

iv) 交通

스피드와 大量輸送을 다루고 있는 現在의 交通機關은 거의 自體制御 되고 있다. 航空機, 鐵道, 船舶 등은 安全性을 確保하는 以上으로 센서가 重要하며, 壓力, 加速度, 速度, 溫度, 光, 變位센서가 到處에 分散해 있다. 自動車 하나만 들어 보아도 실로 多種類의 센서가 必要하며(實現 不可能한 것도 있다), 이것들에 의해 性能의 向上, 安全運轉의 向上, 公害防止, 交通管制 등에 一役을 맡고 있는 것은 말할 必要도 없다.

1.3. 生體感覺에서 얻을 수 있는 센서

앞에서 說明한 바와같이 人間 혹은 生物은 五感이라는 센서를 통하여 外界로부터의 刺激을 感知하여 頭腦는 그것에 응하여 各器官에 正確한 指令을 내리는 任務를 갖고 있다. 五感은 매우 精巧한, 그렇지만 우리가 現在 손에 넣을 수 있는 센서로는 전혀 檢出機構가 다른 센서이며 頭腦와 五感, 그것에 連繫한 運動器官은 불 만한 시스템을 構成하고 있다, 人間이 갖고 있는 感覺機能은 우리 人類가 만들어 낸 센서와 比較가 되지 않을 정도의 高性能이다. 물론 센서쪽의 性能이 뛰어난 면도 많으나, 또한 人間 以外의 다른 生體에 눈을 돌려보아도 그들의 感覺機能이 人間이 보아도 超能力으로 밖에 생각할 수 없는 것도 많다. 여기에 우리들 工學者가 배울 점이 많다. 結局, 이들 生體는 "計測한다"라는 立場에서 우리들과는 전혀 다른 方法으로 問題를 解決하고 있다. 이러한 生理學的인 機構를 研究함으로써 今後 工學的으로 設計되어진 센서의 開發이 急速하게 進歩하리라는 것도 期待되어진다. 事實 生體의 센서-시스템이 工學者에게 強力한 衝擊을 준 例가 있다. 그것은 박쥐의 音波探知시스템(소나)이다.

박쥐의 音波探知시스템만큼, 레이더나 소나 등의 人工의 模倣物 보다도 훨씬 效率이 좋은 것은 없다. 잘 알려져 있는 것처럼 박쥐는 超音波를 發射하여 位置選定(echo location)을 행하고 獲得物을 捕捉하고 있으나 에코우 로케이션의 效率(檢知距離를 重量과 出力으로 나눈것)을

比較하면 어떠한 레이더나 소나보다도 數十億倍나 높다고 하는 結果가 얻어지게 된다. 또한 시스템의으로도 레이더나 소나와 全의으로 同一한 機構를 裝備하고 있다. 요컨데 박쥐는 周波數變調(FM)된 펄스波를 發射하여 昆蟲을 찾는다가 周圍의 狀況을 把握할 수 있다. 더욱 놀라지 않을 수 없는 것은 音의 選擇性이다. 한마리 한마리의 박쥐는 自己自身の 反響에 의해 自己를 誘導할 수 있다. 박쥐는 비슷한 特性을 갖고 있는 다른 混同하기 쉬운 音響에서 正確하게 重要的 反響을 區別하는 方法을 먼 옛날에 배워 알고 있다. 背景의 雜音의 1/2000 이라는 약한 信號마저 識別할 수 있다. 原來 박쥐는 狹帶域의 필터나 로크인앰프를 裝備하고 있기라도 한 것일까?

人間的 귀로서는 16Hz~15kHz 혹은 50kHz의 音波를 들을 수가 있다. 聽覺이 發達한 개는 120kHz의 音까지 들을 수 있다. 또한 개는 800Hz와 805Hz의 音을 分別할 수 있다. 音에 한하지 않고 振動을 커뮤니케이션의 信號로서 利用하는 生物은 意外로 많다. 작은 生物로는 벼멸구와 거미가 있다. 벼멸구는 腹部振動으로 친구와 交信하고 있으며 腹部는 또한 친구로부터의 振動만을 받아 들이는 共振器로 되어 있다. 視覺이 극히 약한 거미는 실에 전해지는 振動의 大小로 自己의 食物로서 適切한지 어떤지를 判斷하고 있다.

또한 赤外카메라의 開發이 進行되어 지고 있는 가운데 뱀이 몸에 붙이고 있는 赤外센서에 興味가 기울어지고 있다. 뱀에는 눈과 콧구멍 사이에 孔器官이라는 것이 2개 있으며 이 가운데 赤外光(溫度)센서가 附着되어져 있다. 뱀은 어두운 곳에서 몸이 따스운 獲得物을 찾거나 捕獲하기 위하여 이 赤外 센서를 利用하고 있으나 興味가 기울어 지는 것은 이 센서가 “에너지檢出形”의 二次元赤外光 센서인 것이다. 요컨데 入射한 光의 에너지의 總計를 檢出하는 센서임이 分明해졌다. 따라서 뱀은 赤外光뿐만 아니라 마이크로波에 맞아도 應答을 나타낸다. 뱀이 갖고 있는 센서는 應答速度가 빨라서 反應自體는 1ms

이하의 短時間에 일어나고 있다(信號가 神經을 거쳐 腦에 달하는데는 35ms 걸린다). 우리들은 이제까지 도프한 Si나 HgCdTe, PbSnTe, InSb 등의 材料를 利用하여 全固體化된 赤外카메라를 開發하려고 努力해 왔으나 이것들은 “周波數檢出形”의 센서로 波長依存性이 강하지만 冷却하지 않으면 雜音 때문에 使用할 수 없는 狀態가 된다. 集積化에는 아직도 數年을 必要로 한다. 그런데 最近에는 에너지檢出形센서 따라서 室溫에서 使用할 수 있으며 解像度가 약간 떨어지는 것의 全固體化가 可能한 焦電結晶이 一躍 注目되어져 오고 있지만 이 센서와 뱀이 몸에 붙인 赤外센서와 基本的인 思考方式과 큰 差는 없는 것으로 생각된다. 물론 檢出機構는 다르지만 얼마의 半導體集積回路技術이 進歩하여 센서가 小形化하여도 小動物의 赤外像을 三次元的으로 얻을 수 있는 뱀의 센서에는 멀리 미치지 못하는 느낌이다. 한편 嗅覺에 대해서 보면 이러한 느낌은 더욱 더 크게 된다.

人間的 嗅覺은 生體 가운데 그다지 좋은 편은 되지 못하나, 예를들면 樟腦와 薄荷腦의 檢出限界는 각각 0.005mg/l, 0.0000005mg/l라 알려져 있다. 개에 이르르면 人間的 數千倍에서 數萬倍 嗅覺이 강하여 硫酸은 1/1000, 乳酸은 1/100萬으로 希釋하여도 感知한다. 또한 나방과 같은 작은 生物에 대해서 마저 냄새가 나방들의 커뮤니케이션에 關係하고 있는 것으로 알려져 있다. 한편 가스 센서쪽으로 눈을 돌리면 가스 識別能力을 要求하는 것이 本來 어려워 誤動作의 原因이 되고 있다. 都市의 公害 監視員 가운데는 코가 銳敏한 사람이 여럿이 있으며 惡臭 등을 實際로 코로 識別해 내고 있다고 한다. 그러나 生體의 檢出機構를 보다 詳細하게 解明해 진다면 從來와는 전혀 다른 가스 檢出機構가 發見될지도 모른다. 味覺이라는 이야기에 이르면 工學的센서가 도저히 미치지 못한다. 人間的 味覺은 細細하게 檢討되어져 있으며 맛에는 4種類가 있는 것으로 알려져 있다. 그렇지만 味覺센서에 관해서는 전혀 未開發이며 開發의 실마리 조차도 發見되어 있지 못하다. (다음호에 계속)