

誘導彈 制御系統

安 宇 熙

陸軍士官學校 助教授(工博)

1. 머릿말

유도탄은 핵, 高性能爆發物, 化學 및 生物作用劑 등의 彈頭가 미사일에 의하여 운반되고 目標에 命中시키도록 하기 위하여 誘導裝置를 가진 砲彈으로서 遠距離까지 砲彈을 보내기 위하여 미사일 自體가 推進裝置를 保有하고 있다.

유도탄은 一次大戰中 獨逸에서 V-2 호를 발사하여 180 km의 거리를 飛行하는데 成功함으로써 始作되어 各種 戰術, 戰略武器로 발전되었다.

ICBM은 워싱턴과 모스크바간의 거리인 8,000 km 이상의 射程距離를 가진 戰略미사일이며 미국에서는 1954년 15Mt 급 핵彈頭 發射實驗에 성공한 후부터 本格的인 開發이 始作되어 1962년부터 Minuteman I, II, III를 生産하였다. 最初에는 발사된 미사일이 어느 地點부터 水平飛行을 하다가 目標 가까운 地點에서 目標에 돌입하는 巡航미사일(Cruise Missile)로 開發되었으나 50年代末에는 目標 誘導가 容易하고 長距離 飛行이 可能한 彈道미사일(Ballistic-Missile)로 代替되었고 60年代末에는 對彈道미사일(ABM)의 開發로 말미암아 多彈頭미사일(MRV, MIRV, MaRV 등)이 實用化되었으며 最近에는 레이더망을 피하는 超低空 飛行術의 발달로 인하여 巡航미사일이 다시 開發되고 있다.

長距離誘導彈이 固定 目標에 사용되는데 反하여 短距離誘導彈은 주로 移動目標에 사용되기 때문에 目標의 精確한 觀測이 필요하며 유도탄을

目標로 신속히 보내 주는 것이 가장 重要하다. 가장 오래된 短距離誘導彈은 二次世界大戰時 獨逸의 X-4로서 航空機로부터 發射된 誘導彈을 有線遠方調整方式에 依하여 誘導하여 敵爆擊機를 擊墜시키는데 使用하였다. 有線誘導 方式은 그 후에 地上에서 탱크나 車輛을 공격하기 위하여 使用되었으며 誘導가 간단하고 電波妨害나 混信의 영향을 받지 않는 利點이 있다.

大部分의 短距離誘導彈은 레이더誘導 方法을 使用하며 이것은 二次世界大戰時 敵機를 探知하기 위하여 英國에서 開發한 레이더를 利用하여 誘導彈을 目標로 誘導한다. 여기서는 레이더方式에 依한 戰術誘導彈中 地對空미사일(SAM)을 中心으로 制御와 誘導에 對하여 알아 보기로 한다.

2. 誘導彈의 誘導

유도탄은 유도장치에 의하여 目標를 命中시키도록 精確히 유도되어야 한다. 이러한 目的을 達成하기 위하여 地上에서 發射된 유도탄은 地上으로부터 送信된 유도信號를 받아 유도되는 command guidance system에 의하여 유도되며 유도탄이 目標에 接近되면 目標로부터 受信된 信號에 의하여 유도되는 homming guidance system으로 보다 正確한 目標誘導를 達成한다.

(1) Command Guidance System Command

command system은 目標追跡裝置, 目標, 誘導彈位置의 3점 유도계통으로서 유도탄이 追跡

裝置 즉 地上레이더와 目標을 열결하는 線上에 位置하도록 유도한다. 그림 1은 目標가 T_0 에 있을때 유도탄이 地上으로부터 發射되어 一定速度로 接近하는 目標에 到達할때까지의 유도탄의 飛行軌跡을 도시한 것이다. 이 유도방법은 최초에 두개의 地上레이더에 의하여 目標과 誘導彈을 각각 追跡하여 電子計算機로 誘導彈位置 偏差를 算出하고 펄스변조된 誘導信號를 UHF 送信裝置에 의하여 별도로 送信되거나 誘導彈 追跡레이더에 의하여 送信하는 無線誘導方式이

등이다. beam riding system은 地上레이더 빔이 目標을 指向하고 있으면 유도탄 内部의 受信裝置가 빔中央으로부터 유도탄의 角偏差를 感知하여 유도신호를 만들어 줌으로써 유도탄을 레이더 빔中央으로 誘導한다. 手動 system은 사람에 의하여 目標과 유도탄이 追跡되고 동시에 유도신호를 보내어 誘導하는 方法으로서 對戰車 誘導彈에 많이 使用된다. 숙달된 運用者는 매우 効果的인 유도탄 操縱能力을 갖는다. 半自動 system은 사람이 目標을 可視裝置에 依하여 正

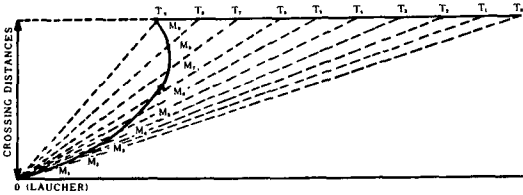


그림 1. 전형적인 유도탄 궤적
Fig.1. Typical missile trajectory.

使用되었다. (그림 2)

近末에 많이 使用되는 command guidance system은 beam riding system, 手動 system, 半自動 system, differential tracking system

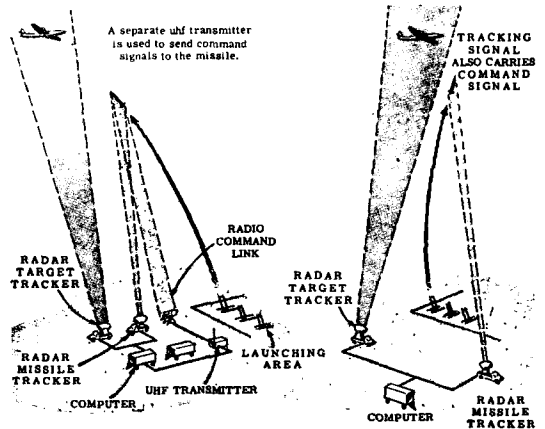


그림 2. 무선 지령 유도
Fig. 2. Radio command guidance.

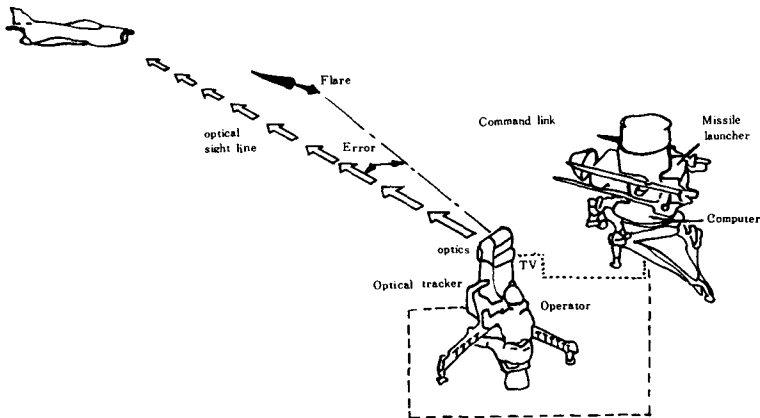


그림 3. 半自動 誘導
Fig. 3. Semi-active guidance.

確히 追跡하면 自動的으로 電子計算機에 유도신호를 유도탄으로 보내어 誘導하는 方法이다 (그림 3) 이 方法은 통상 對戰車誘導彈인 경우에 誘導彈과 電子計算機間에 有線으로 連結된 有線誘導方式이 사용되고 超音速誘導彈에는 無線誘導方式을 使用한다. differential tracking system 은 目標追跡偏差를 除去하기 위하여 여러개의 레이더 빔을 形成해 주는 것을 除外하면

命中率을 높이기 위하여 使用되며 能動 homing, 半能動 homing, 受動 homing 세가지 方法이 있다.

能動 homing 은 유도탄 内部에 裝置된 레이더로부터 放出된 信號가 目標에 反射되어 돌아온 反射信號를 誘導彈에서 受信하여 目標方向으로 誘導彈 方向을 正確하게 유도해 주는 方法이다. 卽, 7,700 MHz 의 CW 信號를 혼 안테나를 통해

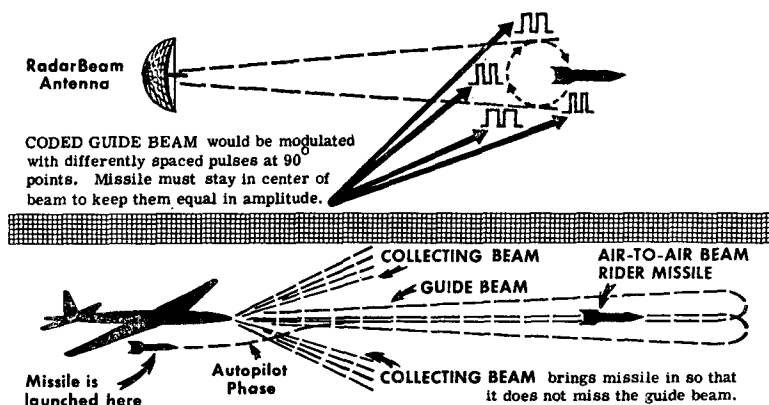


그림 4. 빔 레이더 유도
Fig. 4. Beam rider guidance.

beam riding system 과 같다. 유도탄은 發射直後에 自動飛行으로 유도 빔內로 進入하며 그 다음부터 빔 信號를 받아 目標로 誘導된다. 地上에서 發射되는 SAM 誘導彈은 분리된 두 개의 레이더로 目標을 追跡하여 誘導效果를 增加시키는 方法이 有用하게 使用되며 航空機에서 發射되는 AAM 誘導彈은 하나의 레이더 유도 빔에 의하여 여러 개의 誘導彈을 誘導하는 方法이 使用된다.

(2) Homing Guidance System

homing system 은 誘導彈의 位置와 目標의 2 점 유도계통으로서 目標로부터 受信된 信號에 依하여 誘導彈自體가 目標方向으로 誘導된다. 이것은 유도탄이 目標에 接近됨에 따라 地上으로부터의 거리가 멀어지고 따라서 command guidance 에 의한 誤差도 커지기 때문에 誘導彈의

서 放出시키면 이 信號는 目標에 反射되어 도플러 效果에 依하여 수천 Hz 의 周波數 편이된 反射信號를 受信하며 誘導彈 内部에서 發振된 8,000 MHz 와 合하여 4,000~7,000Hz 의 도플러 편이된 音聲周波數 信號를 만든다. 이 信號에 의하여 誘導彈의 昇降舵와 方向舵를 調整함으로써 誘導彈方向이 目標로 유도된다.

半能動 homing 은 地上 레이더로부터 送信된 信號가 目標에 反射되어 돌아온 反射信號에 依하여 誘導하는 方法이며 誘導彈에는 送信裝置가 設置되지 않는다. 이것은 誘導彈의 무게와 제작비를 省할 수 있는 長點이 있으나 잘못하면 誘導彈이 地上送信 裝置를 攻撃할 위험성이 있다.

受動 homing 은 敵機로부터 放出되는 레이더 信號나 赤外線 信號를 受信하여 誘導하는 方法으로 送信裝置가 全혀 必要치 않다. 敵機의 레이

더 信號는 2~3초의 긴 時間間隔에 한번씩 受信되기 때문에 어려운 點이 있어서 잘 使用되지 않고 主로 赤外線 Homing 方法이 매우 有用하게 使用된다. 敵機로부터 배출되는 gas 에는 熱이 放出되며 여기에 赤外線이 포함되어 있다. 誘導彈 앞부분에 장치된 赤外線 感知裝置는 赤外線이 들어오는 方向으로 回轉할 수 있도록 되어 있어서 이 回轉運動을 서보계통으로 보내 줌으로써 誘導彈을 유도한다. 모든 빛은 赤외線을 가지고 있기 때문에 氣像條件에서 受信되는 赤外線을 除去해야 하는 어려운 點이 있지만 AAM에서는 매우 効果적으로 쓰이고 있다.

3. 誘導彈의 制禦

誘導彈의 飛行位置가 地上레이더에서 追跡된 目標方向線과 다른 位置에 있으면 그 偏差를 測定하여 制禦系統에 依하여 偏差를 減少시켜야 한다. 따라서 制禦系統의 問題는 偏差信號에 따

라 신속하고 效果적으로 誘導彈을 移動시키는 것이며 그 方法에는 直交座標法과 極座標形式의 twist and steer 方法이 있다. 直交座標法은 左右偏差와 高低偏差를 測定한 두개의 信號를 받아 誘導彈 後部 表面에 設置된 方向舵(rudder)와 昇降舵(elevator)를 動作시켜 方向을 조정하며 twist and steer 法은 偏差距離와 偏角을 測定한 두개의 信號에 依하여 유도탄동체를 偏角信號에 따라 回轉(roll)시킨 후 偏差距離에 따라 승강타를 動作시킨다. 그림 5에서 各種 制禦方法을 分類 圖示하였다.

(1) Roll Control

直交座標 制禦에서 유도탄은 비행도중 回轉하는 것을 원치 않는다. 그러나 유도탄은 飛行機처럼 긴 날개가 없기 때문에 실제로 製作上的 誤差나 超音速飛行時 방향타와 승강타가 同時에 動作할때 생기는 制禦表面의 不平衡 負荷 또는 저공비행시 大氣의 不安定으로 인하여 回轉하려

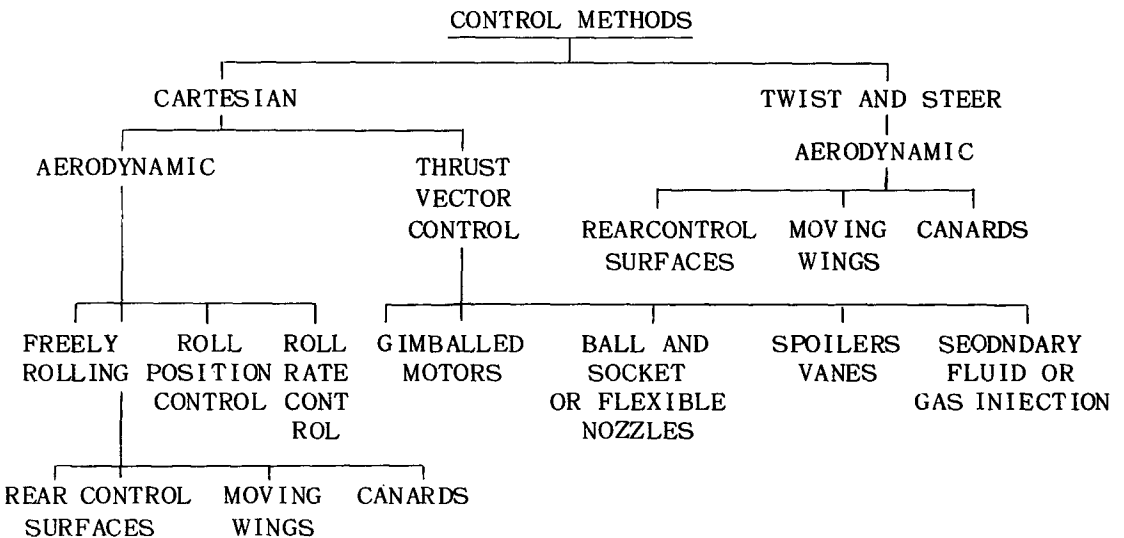


그림 5. 유도탄 제어방법
Fig. 5. Missile control method,

는 경향이 발생한다. 따라서 유도탄은 가능한 한 가늘고 길게 設計하며 또한 유도탄 後尾에 安定 판을 腫體의 回轉에 無關하게 設置해 주기도 한다.

command guidance system 에서는 유도탄의 回轉에 의하여 系統이 不安定하게 되기 때문에 roll gyro 와 resolver 를 使用하여 方向 및 昇 강제어를 精確하게 수정해 주어야 하지만 homing guidance system 에서는 誘導受信裝置와 制禦系統이 함께 回轉하기 때문에 誘導彈 回轉에 의한 制禦修正이 不必要하다.

(2) Aerodynamic Lateral Control

승강제어는 방향제어와 同一함으로 방향제어에 關해서만 論하기로 한다. 大部分의 戰術誘導彈은 固定날개를 가지며 壓力中心(C.P)이 무게 重心(C.G)과 後部の 方向타 사이에 있도록 設計된다. 音速飛行에서는 方向타를 날개 바로 뒤에 위치시켜 全體 表面을 조정함으로서 制禦效果를 增加시킨다. 超音速飛行에서는 날개 바로 뒤에 眞空狀態이므로 가능한한 뒤에 方向타를 위치시킨다. 燃料의 使用에 따라 무게 중심이 移動하는 것을 막기 위하여 燃料은 무게 중심 근처에 위치시키고 彈頭와 信管은 誘導受信裝置등 電子 裝備와 함께 유도탄의 頭部에 위치하므로 制禦系統은 尾部에 設置하게 된다.

그림 6에서 유도탄이 일정한 速度 U_m 으로

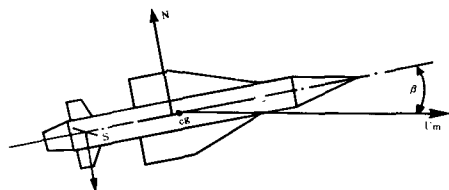


그림 6. 方向舵 制禦
Fig. 6. Rudder control.

비행할때 固定날개와 方向舵에 의한 normal force N 과 方向타의 편차 S 에 의한 부가적인 힘 Nc 를 보여준다. N 은 $C.p$ 에서 작용되기 때문에 $C.p$ 와 $C.g$ 의 거리에 비하여 $C.g$ 와 方向타의 거리가 크면 클수록 誘導彈의 方向制禦가 容易하다. 따라서 $C.p$ 와 $C.g$ 의 거리를 되도록 적게 해주는 것이 좋다. 그러나 만일 $C.p$ 가 $C.g$ 의 前方에 位置하면 유도탄은 不安定하게 된다. 일반적으로 壓力中心과 무게 重心間의 距離는 유도탄 全體 거리의 5% 程度로 해 준다.

그 밖에 方向타를 유도탄 頭部에 設置하여 方向制禦를 더욱 容易하게 해주는 方法과 날개를 움직여서 方向制禦를 修行할때 유도탄의 安定을 增加시키는 方法등이 간혹 使用된다.

(3) Thrust Vector Control

유도탄의 方向制禦를 噴射推進方法에 依하여 修行하는 것으로서 유도탄의 噴射方向을 조정하여 達成된다. 이 方法은 速度가 느리거나 空氣가 稀박한 成層圈을 비행하는 長距離誘導彈, 發射直後부터 유도탄을 유도하여 짧은 거리의 目標로 신속히 移動하는 對戰車誘導彈, 短距離 A AM, 垂直發射後 신속히 方向을 바꾸는 誘導彈, 潛水艦에서 發射된 誘導彈등에 使用된다. 이것은 特히 急速한 方向轉換에 매우 有用하며 誘導彈을 90° 로 方向轉換하는데 0.4 초가 소요된다.

4. Kalman Filter 의 適用

上記한 command guidance 에서는 地上으로부터 誘導彈으로 誘導信號를 보내야 하며 이信號는 電波妨害, 混信등의 影響으로 저절한 誘導가 困難하게 될 수 있으며 homing guidance 에서는 系統雜音으로 인하여 正確한 誘導를 達成하지 못할 수 있다. 더욱이 近來에는 ECM (electronic counter measure) 의 개발로 敵으로부터 電子의 妨害를 받기 때문에 目標를 命中시킨다는 것은 어려운 問題이다. 따라서 command

guidance 보다는 오히려 目標에 對한 資料를 精確히 수집하고 계산하여 目標와 誘導彈의 相逢位置를 正確히 豫測함으로써 發射된 誘導彈은 豫測點을 向하여 비행한 후 目標近方에서 homing guidance 에 의존하는 方法이 더욱 많이 使用되고 있다. 이러한 目的을 達成하기 爲하여 kalman filter 가 誘導彈制禦系統에 應用된다.

kalman filter 는 그림 7에서 보여준 系統圖

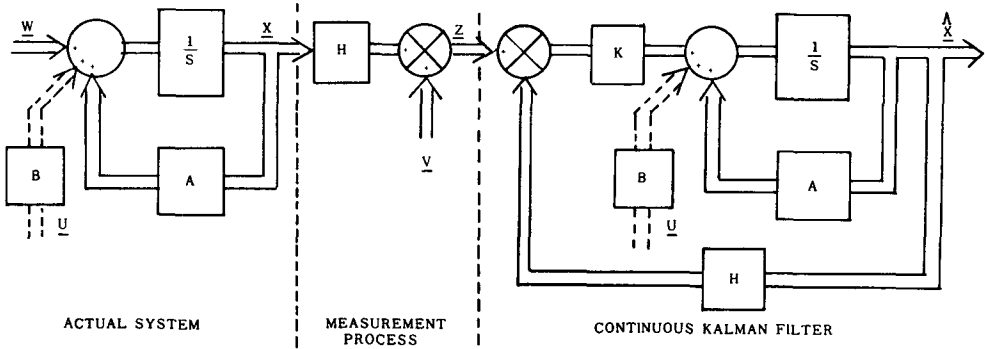


그림 7. kalman filter 계통도
Fig. 7. Kalman filter system.

와 같이 雜音이 包含된 實際 system 의 出力 x 를 測定雜音 v 가 부가된 測定出力 z 로 부터 豫測하기 위한 것이며 계통도의 Kalman Filter 를 통과하므로서 豫測出力 \hat{x} 을 얻는다. 즉 레이더로 追跡된 敵機의 位置, 進行方向, 速度등 必要한 資料를 파악하여 다음에 나타날 敵機의 資料를 豫測하고 豫測된 資料와 實際 나타난 資料를 比較하여 다음 資料를 다시 豫測하고 이 과정을 反復하여 계속적으로 豫測한다. 따라서 追跡時間이 길면 갈수록 正確한 資料가 豫測되며 유도탄의 發射方向은 거의 正確하게 맞추어진다. homing guidance 에서도 kalman filter 를 利用하여 雜音 및 干涉에 의한 效果를 最少 限으로 억제함으로써 正確도를 增加시키게 된다.

kalman filter 는 狀態方程式에 依한 時間領域 解析에 基礎를 두고 最適制禦 理論을 應用한 最新의 制禦方法으로서 총래의 試行錯誤의 設計 方法을 完全히 탈피하여 理論의인 基盤下에 이루

어진 最適의 設計 方法이므로 誘導彈制禦의 各 細部 制禦問題에 모두 適用될 수 있다. 따라서 kalman filter 는 더욱 開發의 餘地가 얼마든지 있으며 특히 그림 8에서 보여 준 最適豫測系統과 最適制禦 系統의 複合으로 이루어진 最適確率制禦系統의 達成은 우리가 念願하는 가장 進歩된 制禦系統이지만 實際 適用面에서 아직도 여러가지 解決하지 못한 問題點들이 남아 있다.

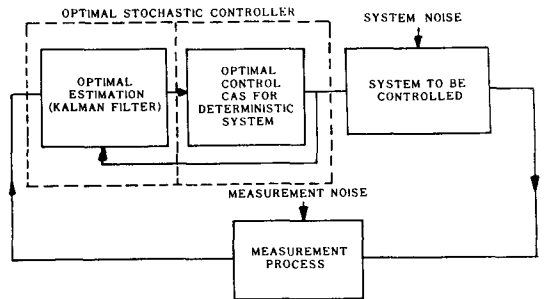


그림 8. 最適確率制禦系統
Fig. 8. Optimal stochastic control system.

5. 맺음 말

現代 誘導彈은 大型電子計算機가 要求되기 때문에 그 크기와 計算速度를 줄이는 것이 重要한 問題이다. 따라서 하나의 電子計算機를 誘導彈에 실어 使用하던 誘導彈制禦를 技能別로 別途의 高速 小型電子計算機를 여러 개 使用하는 方法이 研究되고 있다. 또한 kalman filter 의 開發과 함께 ECM에 대처하기 위한 ECCM 의 開發은 더욱 절실하며 現在 계속적인 研究가 進行되고 있다.