

世宗 自擊漏의 更點 報時 시스템의 復元

A Reconstruction of Night-Watch Time-Annunciating Systems for the King Sejong's Striking Clepsydra

南 文 鉉*
(Moon-Hyon Nam)

요 약

自擊漏는 물時計에 人形을 쓴 報時裝置가 附加되어 授時曆에 따른 十二時 百刻(一日)과 五更 二十五點(夜時間)을 自動적으로 維持報時하던 朝鮮朝 世宗代의 歷史的 遺物이다. 本 論文은 報漏閣記를 技術적으로 分析하여 밤時間을 알리는 更點報時裝置의 核心이 되는 更點機를 研究한 것이다. 시스템 接近法을 利用하여 얻은 更點機의 入出力 모델을 根據로 更機와 初點機, 그리고 點機의 機能 모델을 構成하고 漏器 및 浮箭, 方木, 銅筒 및 鐵丸放出 機構, 그리고 更點機로 更點報時 시스템을 構成하였다. 更點機는 公의 落下를 制御하여 驅動力을 發生하도록 적절히 設計된 時計裝置로서 報更報點을 完全히 自動化하는데 기여한 精密構造였음이 밝혀졌다. 本 論文에서 提案한 更點報時裝置 모델의 展開를 위한 文獻 및 史料에 대해서도 考察하였다.

Abstract- King Sejong's Striking Clepsydra was an elaborate timekeeping and annunciating system incorporating biological automata capable of annunciating hours, intervals and night-watches based on Shou-shih calendrical systems automatically. In this paper the author has studied the original manuscripts on the Striking Clepsydra [Sejong sillock, 65: 1a-3b ff; 16th year, 7th month(1434)] from the technical point of view undertaking a close analysis of this monumental clock and aiming to our modern understanding of the full degree of delicate mechanisms and sophisticated controls built into the night-watch and division annunciating clockwork(jackwork). Based on the input/output model, timekeeping, ball-rack, ball-relay, and audible time-indicating mechanisms were synthesized reconstructing night-watch annunciating systems. It revealed that the night-watch and division annunciating processes were entirely renewed automatically. Historical and philological data concerning the improvements of the proposed model were discussed.

1. 序 論

*正 會 員 建國大 工大 電氣工學科 教授·工博
接受日字 1989年 8月 9日
審査完了 1989年 12月 4日

自擊漏(一名 報漏閣漏)는 물時計에 報時人形을

은 報時裝置가 附加된 우리나라의 傳統的인 時間維持 및 計時機器의 하나였다. 이것은 自動報時裝置가 붙은 時計의 製作에 대한 世宗大王의 念願과 金墩, 金鐘, 蔣英實을 비롯한 參與者들의 努力의 所産[記:…上又慮報時者未免差謬…命護軍蔣英實作司辰木人三神十二神以代雜人之職…]으로서 1434年(世宗 16年) 7月 1日(陰)부터 國家의 標準時計로서 써오다가 壬辰倭亂中에 消失되었으며 이것의 原理와 構造는 記錄으로만 전해오고 있다[6-9, 12]. 1536年(中宗 31年) 6월에 完成되어 昌慶宮에서 쓰인 新自擊漏의 遺物|註:大播水壺 1個, 小播水壺 2個, 受水壺 2個와 浮龜 2個, 浮箭 1個 等이며 國寶 229號로 指定되어 現在 德壽宮에 保管|과 記錄을 參考하여 自擊漏의 構造와 機能을 一部나마 推定할 수 있다.

Rufus(1936)가 自擊漏를 人形時計(puppet clock)로 西方世界에 紹介한 以來 이것은 科學史[1-2, 17-18], 天文學[19-20], 計測制御分野[3-5]에서 國內外 學者들에 의해 體系의으로 研究되었다.

本 研究는 韓國의 傳統的 自動化機器와 技術의 發掘에 대한 하나의 試圖로서 世宗 自擊漏의 自動報時裝置의 機能을 自動化 및 制御工學의 觀點에서 研究한 것이다. 著者는 이미 自擊漏의 原理와 機能을 밝혀내고 構造를 圖示의으로 復元한 바 있으며 本 論文은 先行研究[南, 1988]의 後續으로서 現在까지 構造와 機能이 完全히 밝혀지지 않았던 自擊漏의 更點報時裝置 가운데 核心部分인 更點機의 機能 및 作動을 研究한 것이다.

本 研究에서는 金墩의 報漏閣記와 金鐘의 報漏閣銘并序(世宗莊憲大王實錄 卷65; 17-32)의 記事를 바탕으로 시스템 接近法을 利用하여 機能을 分析하고 여기에 該當하는 部品과 機構들을 組合하여 復元하는 方法을 택하였으며 自擊漏의 特徵을 現代의인 觀點에서 考察하였다.

2. 更點 報時 시스템의 解析

自擊漏는 漏器(clepsydra vessels) 및 浮箭(float-rod), 方木(ball-rack mechanism) 및 接續通路(ball-relaying channel), 銅筒 및 鐵丸放出機構(ball-relay and control), 十二時 報時裝置(visible and audible time-indicator for double-hours), 更點報時裝置(visible and audible time-indicator for night-watches and night-watch divisions)로 構成되어있다. [8, 19]

本 章에서는 自擊漏 가운데서 밤時間用 물時計와 이것의 報時裝置를 合한 更點報時시스템

(night-watch annunciating system)을 機能面에서 解析하여 入出力信號 모델을 構成하였다.

本文에서 [記:]는 報漏閣記의 原文을 該當部分 마다 引用한 것이며, [註:]는 間註를 뜻한다. 그림에 表示한 漢字는 鼎足山本 世宗莊憲大王 實錄 卷65에서 뽑은 것들로서 該當되는 機械의 部品, 機構나 動作을 나타낸 것이다.

2.1 時刻法

世宗代에는 元나라의 郭守敬(1231-1316)이 만든 曆法인 授時曆에 따라 一日 十二時 百刻法을 썼으며 하루(1日)를 작은 單位로 細分하는 아래의 3가지 方法을 써왔다. [1, 18]

(1) 온하루[a full day, 子正(midnight)부터 다음 子正까지]를 12個의 時間間隔인 十二時[twelve 'double-hours', '時'는 오늘날의 2時間에 該當]로 나누고, 每時は 初(beginnings)와 正(mid-points)의 2部分으로 나뉘 오늘날의 24時間과 같이 썼다.

(2) 온하루를 100刻(quarter)으로 나뉘었으며, 1刻은 오늘날의 14分 24秒이다. 每時は 8 1/3刻이며 初와 正은 各各 4 1/6刻이고, 刻은 '分'으로 細分하였으며, 分은 普通 6이나 그것의 倍數로 하였고 世宗代에는 12分으로 나뉘었다. [記:…面分十二時每時八刻并初正餘分爲百刻刻作十二分…]

위의 두 가지는 連續的으로 反復되는 等時法(constant 'clock-time')이다.

(3) 하룻밤[a night, 해진 後 2.5刻인 昏의 時刻

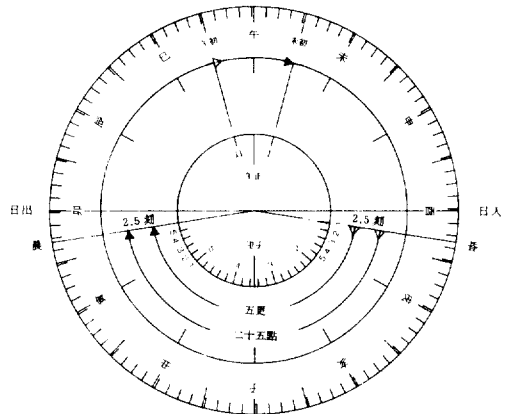


그림 1 春秋分日의 漢陽의 時刻모델
Fig. 1 Scheme of time-divisions of the night in Seoul on spring and autumn equinoxes—100 quarters, and 12 double-hours and unequal night-watches each divided into fifths.

부터 다음날 해뜨기 前 2.5刻인 晨의 時刻까지]을 5等分하여 5個의 ‘更’(night-watches)으로 나누고, 每更을 다시 5等分하여 5個의 ‘點’(night-watch ‘divisions’, 中國에서는 ‘籌’라고도 하였다)으로 細分하여 하룻밤(1夜)을 五更 二十五點으로 하였다. 하룻밤의 길이는 年中 週期的으로 變化하므로 五更 二十五點의 報時와 晝과 晨의 舜間은 時間維持 機器 製作者들에게는 만만치 않은 問題들이었다. 授時曆에 따르면 夏至때 晝의 길이는 62刻, 밤의 길이는 38刻이 되고 冬至때는 이와 反對가 된다. 冬至때의 하룻밤은 夏至때의 1.6倍이며 1 更이 12.4刻이나 된다.

서울(漢陽)에서 春秋分日의 時刻 모델은 그림 1과 같다. 그림 1의 가장 바깥줄은 100刻, 그 안의 것은 十二時, 가장 작은 원의 부채꼴은 밤시간(更點)을 나타낸다. 밤시간을 알리는 順序는 1 更(初更) 1 點(初點), 2, 3, 4, 5 點, 2 更 1 點, ..., 5 更 1 點...의 順으로 세어가면 된다.

2.2 更點報時 시스템의 動作原理

更點報時 시스템의 動作原理와 順序를 原文에서 引用하면 다음과 같다.

記：…漏水下注於受水壺則浮箭漸升應時撥左銅板竅機而小丸墜下轉入銅筒從竅墜撥其機機開而大丸墜轉入座下懸短筒墜動機匙則機一端自通內上觸同時神之肘即鳴鐘更點亦然但更丸則注入懸短筒墜撥機匙自左圓柱中上觸司更神之肘鳴鼓轉入點筒復發初點之機自右柱中上觸司點神鳴鉦…

…每更三點以下之丸則墜注懸短筒轉入蓮葉撥其點之機而止次點之丸轉過亦撥其點之機而之機止丸之筒有竅加扁閉之及五點之丸墜動其最下之機則連機鐵繩以次抽諸扁與前三點之丸一時俱下矣…

위의 記述을 바탕으로 更點報時 시스템의 動作을 順序대로 整理하면 다음과 같다. 各 段階에서의 課程을 現代의인 意味로 解釋하여 同時에 나타내었으며 番號는 그림 2의 화살표 番號와 같다: 1. 調節된 流速으로 受水壺에 물이 流入되면= regulated input; 2. 浮箭이 떠오르면서=ramp信號發生, 25개의 작은 구리공(銅小丸)을 놓은 칸막이 하나를 위로 밀어주면=sampling; 3. 구리공은 銅板에 뚫린 구멍으로 나와=A/D變換; 4. 受水壺위에 설치한 구멍이(陷)로 떨어져=digital信號發生; 5. 接觸通路를 거쳐 報時裝置에 設置된 銅筒으로 굴러 들어간다=interfacing; 6. 구리공은 비스듬히 가로 놓인 銅筒 밑에 뚫린 25個의 구멍 가운데 첫번째(左에서 右)에 떨어져 밑에 設

置된 機構의 한 쪽을 누르면 방금 공이 떨어진 구멍이 닫히고(다음 구리공의 通路가 形成되며)= registering; 7. 1, 6, 11, 16, 및 7番 구리공은 每更과 그것의 初點機匙를 作動시킬 쇠공을 放出하여=amplifying; 8. 쇠공(便宜上: 1番)이 1番機匙를 作動(撥)시키면=actuating; 9. 司更神과 連結된 機構의 한 끝(機一端)이 위로 올라가게 하여=upward impulse; 10. 司更神의 팔뚝(肘)을 건드려(觸) 북(鼓)을 1회 치도록 한 다음=striking a drum; 11. 그 공(1番)은 點筒으로 굴러 들어가 1番初點機匙를 作動(復發)시켜=traveling and actuating; 12. 司點神과 連結된 機一端이 위로 올라가게 하여=upward impulse; 13. 司點神이 鉦을 치도록 팔뚝을 건드린다=striking a gong; 14. 그 공은 1番初點機匙 밑에 설치한 筒에 떨어지면서 지나온 通路를 닫고 更路를 열어 다음 공(6번, 곧, 2更初點用)이 지나도록 한다=ON/OFF action; 15. 2番 구리공은 銅筒의 2番 구멍에 떨어지고 그 구멍은 닫힌다=registering; 16. 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24 및 25番 구리공은 차례로 每更의 2, 3, 4 및 5點用機匙(點機匙)를 作動시킬 같은 番號의 쇠공을 放出하면=amplifying; 17. 쇠공(便宜上: 2番)은 落下하면서 1點機匙를 作動시켜=actuating; 18. 司點神과 連結된 機一端을 위로 치밀어=upward impulse; 19. 司點神이 鉦을 치도록 팔뚝을 건드린다=striking a gong; 20. 쇠공(2番)이 2點機匙를 作動시키면 앞서의 課程(18 및 19)이 反復되고=sounding the gong twice; 21. 通路를 지나 蓮葉 밑 筒에 設置한 機械를 作動시키고 머물면 지나온 通路가 닫히고 다음 點(3點)의 通路가 열린다=ON/OFF action; ...3, 4번 쇠공도 같은 課程(15-21)을 反復하는데 5番 쇠공은 떨어지면서 5個의 點機匙를 차례대로 作動시키고 앞서 머물고 있던 쇠공(2, 3, 4번)과 함께 밑으로 떨어져 通路의 狀態를 原狀回復시킨다=reset. 6番 공 부터는 똑같은 課程이 反復되고 북 15회, 징소리 70회가 울렸다.

그림 1과 위의 記述을 바탕으로 更點報時 信號傳達와 報時課程을 블록 線圖로 나타내면 그림 2와 같다. 報時 시스템은 물시계와 報時裝置로 構成되며 制御工學的 觀點에서 보면 信號發生, 處理 및 프로세스로 構成됨을 알 수 있다.

2.3 更點機의 入出力 모델

그림 3은 지금까지 살펴 본 時刻法과 更點報時

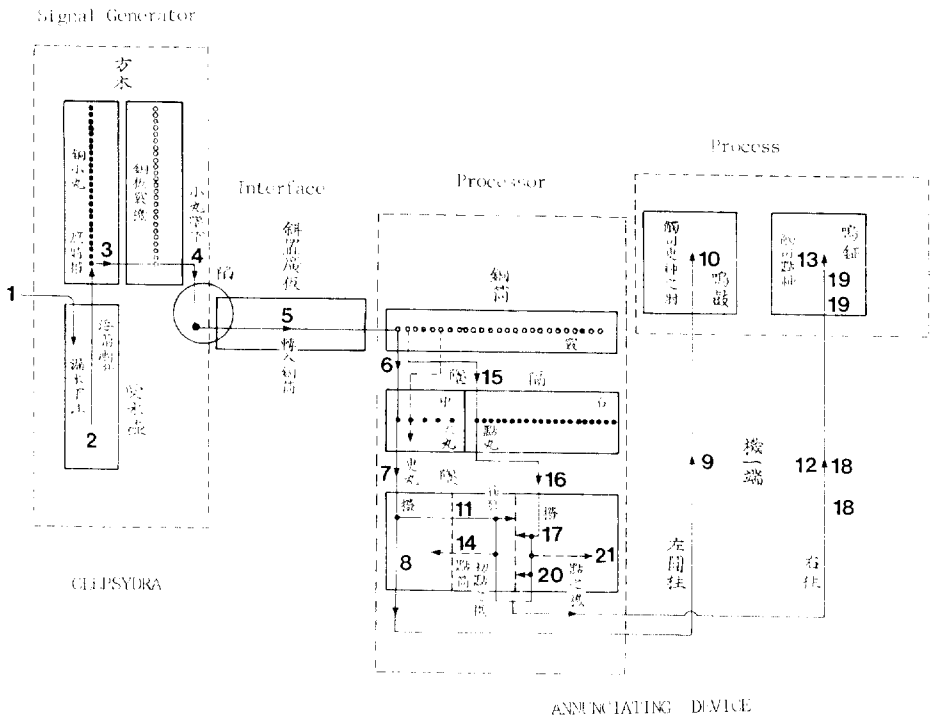


그림 2 自擊漏의 更點報時 시스템의 信號傳達과 動作順序
 Fig. 2 Striking Clepsydra: Night-watch annunciating system. Showing signal (power)transmission path and sequence of operations.

시스템에서의 信號發生 및 處理裝置部分에서 얻은 入力과 出力을 電氣的인 信號의 形態로 나타낸 것이다. 그림 3의(0)은 2.2節의 段階 1-3의 課程이며 떠오르는 잣대(ramp信號)가 方木안의 구리공을 떨어뜨려 얻은 離散信號(段階形態)를 나타낸 것이다. 一定한 間隔으로 25個의 작은 공(pulse)이 接續通路를 거쳐 銅筒으로 들어가 落下하는 課程은 그림 3의(1)과 같으며, 이 공이 更點機를 驅動하기 위해 대기중인 쇠공(鐵丸)을 順序대로 放出시키는 것은 그림 3의(2)와(5), 落下한 쇠공의 動力으로 북(鼓)과 징(鉦)을 쳐서 每更과 初點을 報時하는 것은 그림 3의(3)과(4), 징(鉦)을 쳐서 每更의 2, 3, 4 및 5點을 報時하는 것은 그림 3의(6)과 같은 信號(impulse)로 나타낼 수 있다. 그림 3의(2)에서 1, 6, 11, 16 및 21番 信號는 初點을 擔當하며 1番 공은 1회의 북과 1회의 징을 치는 기구를 擊發한다. 다른 공들도 자기 정해진 更과 初點에 對應하는 機構를 作動시킨다. 그림 3의(5)에서 2, 3, 4 및 5番 信號는 1更(初更)의 2, 3, 4 및 5點을 報時하는 그림 3의(6)과 같은 信號를 發生시킨다. 다음에 7, 8, 9 및 10番

은 2更의, 12, 13, 15 및 15番은 3更의, 17, 18, 19 및 20番은 4更의, 22, 23, 24 및 25番은 5更의 2, 3, 4 및 5點을 報時하는 信號이다. 本 研究에서 試圖한 各部分의 復元은 그림 3의 入出力 信號 모델을 바탕으로 이루어졌다.

3. 更點報時시스템의 設計

3.1 漏器와 浮箭

自擊漏의 基本 時間維持機器인 水時計 部分은 크고 작은 4個의 給水用 항아리(播水壺)와 2個의 測定用 항아리(受水壺)와 그 안에 띄운 잣대(浮箭)로 構成된 典型的인 浮漏(inflow clepsydra)이다. 一定하게 물이 흘러 들면 測定항아리의 水位가 直線的으로 增加하는 現象을 利用하여 均一하게 눈금매긴 잣대를 float에 꽂아 시간을 알아냈다. 물의 흐름을 一定하게 調節하는 방식에 대해서는 記錄에 言及이 없어 overflow方式(Needham等, 1986)이나 float-valve方式(南, 1985)이 쓰였을 것으로 推定할 뿐이다.

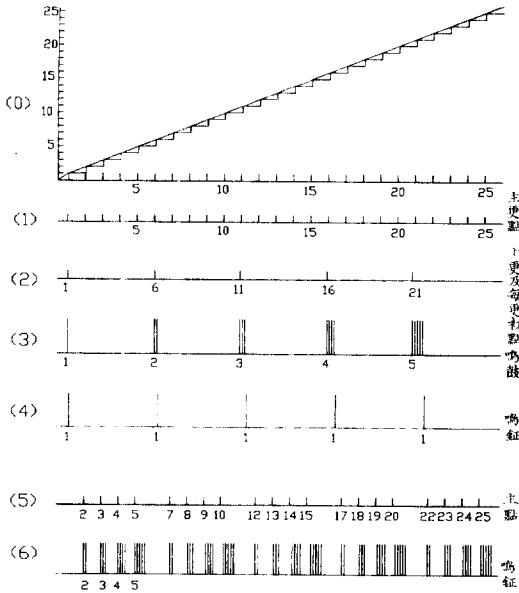


그림 3 更點機의 入出力 모델

- (0) 浮箭과 方木의 信號發生(램프는 浮箭의 上昇, 階段은 구리공의 落下)
- (1) 銅筒의 구리공 落下順序
- (2) 每更 및 初點用 쇄공의 放出順序
- (3) 每更의 報時(북소리)
- (4) 每更의 初點報時(징소리)
- (5) 2, 3, 4, 및 5點用 쇄공의 放出順序
- (6) 每更의 2, 3, 4 및 5點 報時(징소리) — 五更 동안에 5回 反復

Fig. 3 Input-output signal patterns for the night-watches and divisions clockwork. Showing timing signal generation and processing and actuating signal patterns. Pulse represents sequence of bronze ball falling and impulse represents the striking of the drum and the gong.

自擊漏의 機能은 十二時(은 하루) 時刻을 連續 測定하고, 정해진 時間동안 밤時刻을 測定報時하도록 構造를 二元化(給水用 2個, 測定用 1個의 항아리가 1組를 이룸)한 것으로 밝혀졌다. [8] 그러나 十二時만은 連續的으로 測定해야 했으므로 물時計는 五更用과 交代로 사용했다.

[記: ...播水龍壺四大小有差受水龍壺二遞水時更用之...]

밤時計의 잣대는 이웃한 2季節에 1個로 要約하여 年中 12個를 썼다.

[記: ...夜箭舊二十一有徒煩遞用更據授時曆晝夜分升降率約二氣當一箭凡十二箭...]

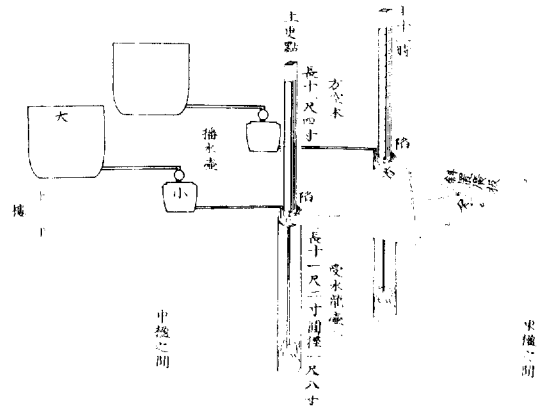


그림 4 漏器와 浮箭, 方空木 및 斜置廣板(1尺은 1周尺을 뜻하며 21cm 정도)

Fig. 4 A pictorial reconstruction of clepsydra vessels, float-rod and ball-rack mechanisms and wide sloping board(one Chou-foot-rule corresponds to about 21cm).

[註: ...第一箭은 冬至때, ..., 第12箭은 夏至때, 그 後부터는 第十二, 十一, ..., 第一箭의 順으로 썼을 것이다].

그림 4는 물時計와 이의 관련된 裝置들을 나타낸 것이다. 報漏閣의 中機之間에는 樓를 놓아 위에는 播水壺를 아래에는 受水壺를 排列하고 受水壺 위에는 方(空)木을 설치하였다. 물시계와 報時裝置는 斜置廣板으로 接續하였다. 接續通路는 || 또는 X字形인데 이것은 測定用 항아리를 交代할 때를 對備한 것이다. 곧, 報時裝置의 十二時, 五更用 銅筒들이 固定했으므로 위의 두가지 通路가 필요하다.

3.2 方木

五個의 更과 每更의 每點을 順序에 따라 報時하려면 25個의 持續期間(time interval or duration)이 필요하다. 自擊漏에서는 受水壺위에 네모진 나무틀[方(空)木]을 세우고 機構를 그 안에 設置하여 여닫을 수 있는 25個의 칸막이(隔)를 설치하고 25個의 작은 구리 공을 놓을 수 있게 하였다. 칸막이의 한 쪽을 위로 밀었을 때 구리공이 굴러서 通過할 수 있는 25個의 구멍(ball-rack)을 銅板에 뚫었다. 12個의 잣대(夜箭)의 눈금에 맞춰 칸막이와 구멍이 뚫린 銅板竅機를 12個를 만든다. [註: 方木 1個에 12個의 銅板을 차례대로 끼워 썼을 것이다].

[記: ...受水壺壺上植方木中空面虛長十一尺四寸廣六寸厚八分深四寸空中有隔去面入一寸許...右設銅

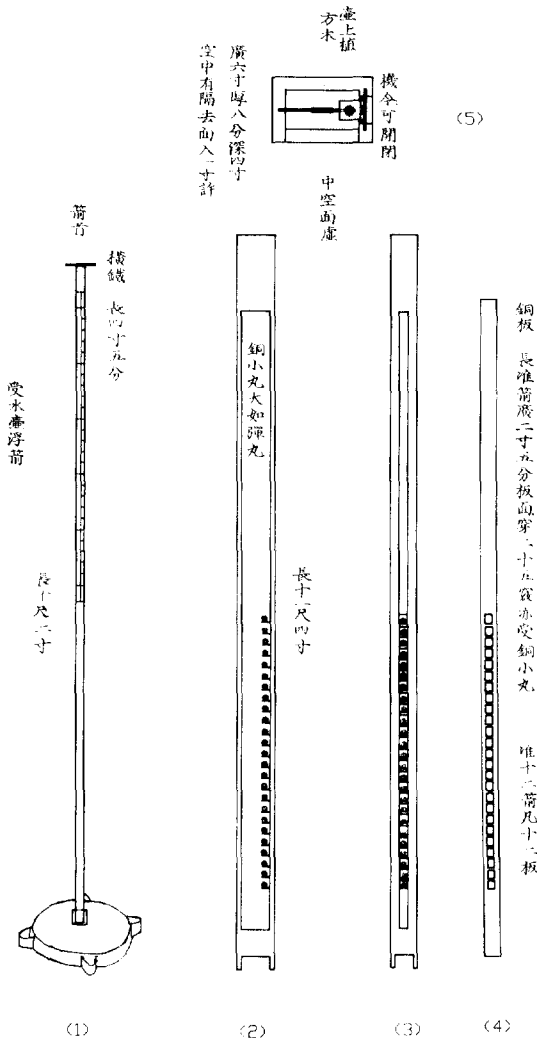


그림 5 浮箭과 方木의 構造

- (1) 浮箭
- (2) 25個의 구리공 받침 칸막이 (正面圖)
- (3) 機構의 右側面圖
- (4) 銅板竅機
- (5) 方木의 平面圖 (擴大圖面)

Fig. 5 A reconstructual drawing of float-rod and ball-rack mechanisms :

- (1) float-rod
- (2) latches(frontal view)
- (3) latches(side view)
- (4) bronze ball-rack
- (5) top-view(extended scale)

板長准箭廣二寸五分板穿二十五竅亦受銅小丸如左板准十二箭凡十二板隨箭氣遞用主更點...

그림 5의(1)과 같이 잣대 머리위에 끼운 가로쇠(橫鐵)의 한 끝은 칸막이(隔)를 갖히고, 다른 한 끝은 나무틀 안에 파여진 홈을 따라 오르도록 하여 잣대가 安定性을 維持하도록 하였을 것이다. 잣대의 눈금은 그림 5의(1)과 같이 매겼으며 材料는 耐性이 좋은 杉木을 썼던 것으로 보인다. [註: 現存하는 新自擊漏의 잣대도 杉木임이 밝혀졌다.] Float도 現存하는 것과 記錄[9]에 전해오는 것을 參考하여 볼 때 거북(浮龜)의 형태였을 것이다.

[記: ...受水壺浮箭首擊橫鐵如筋長四寸五分...]

3.3 銅筒 및 鐵丸放出機構

斜置廣板을 지난 銅小丸은 報時裝置안의 銅筒으로 굴러 들어간다. 이 銅筒은 길이가 8尺이며 쇠공(大鐵丸)을 담아 두는 2個의 칸막이 위에 비스듬히 가로로 設置한다.

[記: ...轉入銅筒從竅墜撥其機機開而大丸墜轉入座下...]

쇠공을 담아두는 칸막이는 2個로서 첫 칸에는 每更과 初點을 制御하는 5個의 쇠공을, 둘째 칸에는 每更의 2, 3, 4, 5點을 制御하게 될 20個의 쇠공을 配列하고 약간 기울게 하여 쇠공을 막고있는 고리가 돌리면 쇠공이 구른다. 이것들의 構造는 순갈모양으로서 지렛대의 原理를 利用할 수 있도록 適切한 形態를 갖추었다. [南, 1988]. 銅筒 밑에는 25個의 구멍을 뚫고 구멍을 여닫을 수 있는 뚜껑을 設置하고 구멍 바로 밑에는 순갈모양의 機構(機匙)를 設置한다. 처음에는 모든 구멍을 열어 놓았다가 銅筒의 구멍으로 구리공이 떨어지면 機匙의 둥근 쪽을 구리공이 누르게 되고 쇠공을 막고 있는 機構의 구부러진 끝이 돌리면서 쇠공은 구르게 되고 銅筒의 구멍은 닫혀 다음 구리공의 通路를 形成한다. 다음의 구멍도 같은 原理로 차례로 닫혀 다음 구리공의 通路를 形成하여 다음의 구리공이 지나도록 한다. (概略的인 動作原理와 構造는 本文 그림 7과 8 參照)

[記: ...東楹座下設隔四如甬道狀隔上安大鐵丸大如鷄卵...中五主更及每更初點右二十主點其安丸處皆有丸開閉且設橫機其機狀類匙一端曲可以拘環一端圓可以受丸中腰皆有圓軸令低昂其圓端當銅筒之竅銅筒有二斜設於隔上...右長八尺圓經如左筒主更點下面穿二十五竅竅皆有機初令竅盡開銅板之小丸墜注動機則機自掩竅以爲次丸轉過之路次皆然...].

3.4 更點機

更點機는 報時裝置의 機能을 制御하고 驅動하는

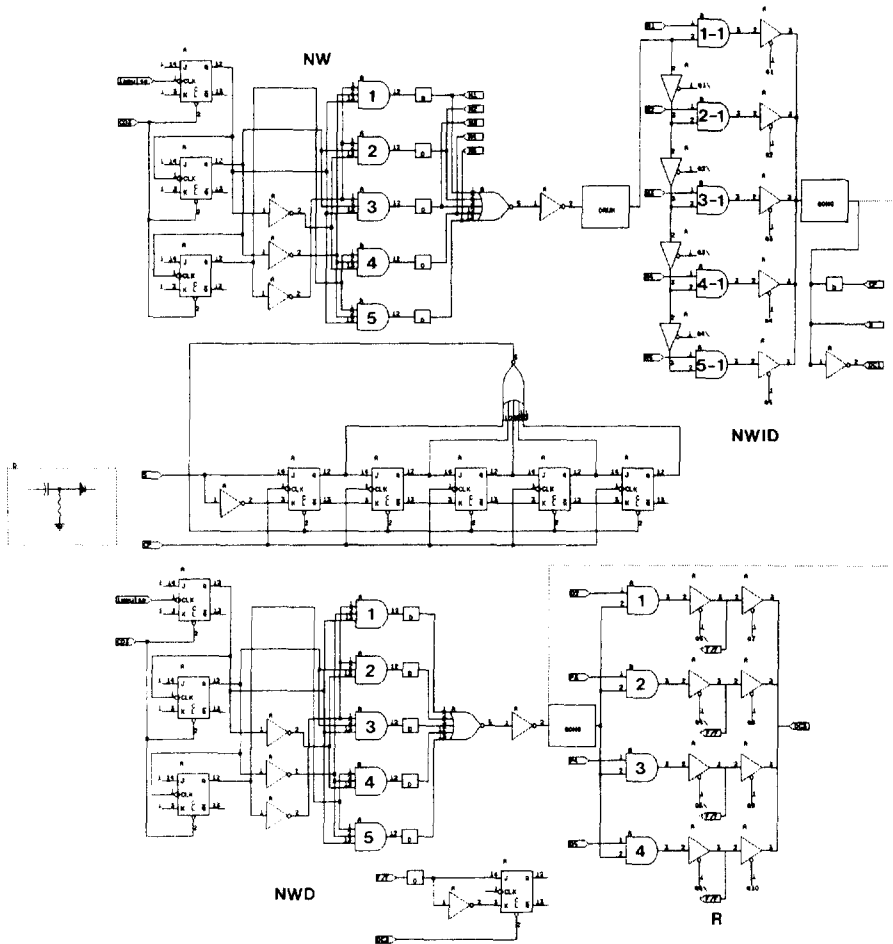


그림 6 更點機의 電氣的인 等價모델; NW: 更機, 1-5 更, NWID: 初點機, 1-1, 5-1: 1 更初點, 5 更初點, NWD: 點機, 1-5 및 1-4: 2, ..., 5 點, R: 復歸

Fig. 6 Electrical equivalent model of night-watches and divisions processor. NW: night-watch lever, NWID: night-watch initial division, NWD: night-watch division, R: reset.

데 中樞的인 役割을 하는 機構로서 每更과 初點을 擔當하는 更機 및 初點機, 그리고 每更의 2, 3, 4, 및 5點을 擔當하는 點機로 構成된다. 그림 3의 (3), (4) 및 (6)番을 機能的으로 遂行하는 것이 更點機의 重要 任務이다. 이것의 構造에 대하여:

記: ...右立圓柱方柱各二圓柱中空內設機形亦如匙半出半入左柱則五右柱則十...

곧, 五更을 알리는데 5個의 機匙(순갈모양의 機構로서 지렛대의 역할을 한다)가 必要하며, 每更의 初點을 알리는데도 5個의 機匙가 필요하다. 한편 每更의 2, 3, 4 및 5點을 알리는 點機에도 역시 5個씩의 機匙만으로 反復되는 機能을 遂行하도록 하면 點을 알리는데는 初點用 5個, 2, 3, 4 및

5點用 5個 모두 10個이다.

3.4.1. 更機 및 初點機

鐵丸放出機構에서 放出된 1, 6, 11, 16 및 21番 쇠공은 落下하면서 更 및 初點用 機匙를 각각 5個씩 作動시켜 每更과 初點報時用 驅動力를 發生시킨다. 쇠공은 1회에 1個씩만 落下하면서 1番 공은 1更(1番)機匙를 1회, 1番初點機匙를 1회 都合 2회, 6番공은 1番機匙 1회, 2更(2番)機匙 1회 그리고 2番 初點機匙 1회 모두 3회 作動시켜야 한다. 곧, 1更(1番) 및 2更(2番) 機匙사이에는 처음에 단렸다가 나중에 열리는 開閉式 通路가 있음을 알 수 있다. 2, 3 및 4更用機匙 밑에도 마찬가지이다.

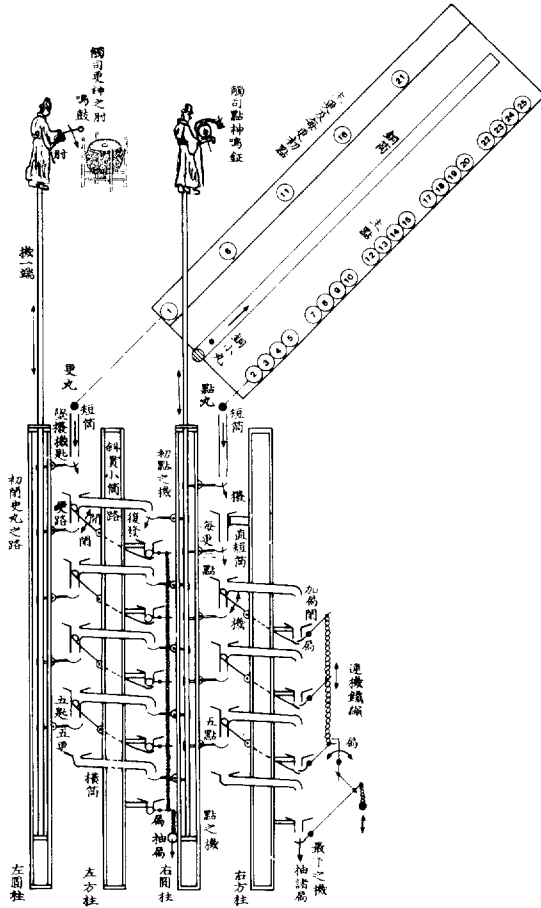


그림 7 更點機의 動作모델
 Fig. 7 Working model of night-watches and divisions clockwork.

따라서 각 쇠공은 機匙를 作動시키는 외에도 附加의 일을 해야 한다. (2.2節의 段階 11-14課程 參照)

[記: ...方柱斜貫小筒每柱各四一端爲蓮葉一端爲龍口蓮葉則受丸龍口則吐丸龍口蓮葉上下相當其上別有懸短筒二一受更丸一受點丸右方柱每蓮葉下各附直短筒二橫短筒一其橫筒一端接於左方柱蓮葉下左圓柱之五匙右圓柱之五匙其圓端各當龍口蓮葉間右圓柱之五匙其圓端半入直筒之內...

...更點亦然但更丸則注入懸短筒墜撥機匙自左圓柱中上觸司更神之肘鳴鼓轉入點筒復發初點之機自右柱中上觸司點神鳴鈺而止于蓮葉下直小筒其轉入處設機初閉更丸之路及其轉入則所入之路閉而更路開餘更皆然待五更終抽局出之...].

[註: 右方柱(방점은 필자가 붙임)는 左方柱의 方植으로 생각된다. 이 文章은 文脈으로 보아 左力柱 곧, 左圓柱와 右圓柱 間의 通路開閉方法에 對해 說明하고 있는 것으로 보아 틀림이 없을 것이다].

위의 記述에서 쇠공은 更機의 每更機匙 5個 [註: 左圓柱內 設置], 左方柱斜貫小筒 4個, 初點機匙 5個 [註: 右圓柱 左便에 設置], 直小筒(또는 直短筒) 4個가 적절히 配列된 構造를 通路로 하여 落下하면서 機能을 遂行함을 알 수 있다. 이와같은 機能이 可能한 物理的인 構造를 얻기 위해 먼저 入出力信號 模型을 基本으로 하여 論理機能을 갖는 電氣的인 等價모델[그림 6에서 NW(更機) 및 NWID(初點機)]을 얻은 다음 여기에 對應되는 機械的인 시스템을 構成하였다. 그림 7은 지금까지의 記述을 바탕으로 그림 3의 入出力 模型과 그림 6의 等價回路에서 機械的으로 對應되는 機構와 部品으로 바꿔 얻은 更點機의 模型이다. 그림 7에서 왼편 部分은 更機(左圓柱) 및 初點機(右圓柱의 왼편) 모델이다. 左方柱 斜貫小筒과 蓮葉 밑에 設置한 直小筒은 各各 水平 및 垂直通路로서 이 안에는 2個의 通路를 여닫을 수 있는 하나의 開閉裝置가 돼있음을 알 수 있다. 初點機匙를 作動시킨 쇠공은 앞서의 通路를 여닫는 裝置를 作動시킨 다음 그 狀態를 維持한다. 이러한 通路를 插入하고 1番공을 落下시키면 공은 먼저 左圓柱 1番機匙를 作動(이때 북소리 1回)시키고 左方柱의 1番 斜貫小筒을 지나 落下하면서 右圓柱의 1番初點機匙를 作動(이때 징소리 1回)시키고 落下하여 左方柱 蓮葉 밑에 붙은 1番 直小筒 밑의 여닫이 裝置를 열어주면 同時에 1番 斜貫小筒은 닫힌다. 따라서 1更 1點이 報時되었고 다음 북을 2回(2更) 칠 수 있는 準備가 完了되었다. 결국 5個씩의 북과 징을 驅動시킬 機匙와 4個의 垂直 및 水平通路가 必要함을 알 수 있다. 따라서 更機와 初點機는 擊撥機構와 連結 및 加算을 위한 通路들을 위에서 아래로 적절히 配置함으로써 落下하는 공의 에너지를 活用하여 機構들을 作動시키는 것이 可能하다. 그림 7에서 11番공의 境遇는 落下하면서 左圓柱의 1番, 2番, 3番 機匙를 차례로 作動하고 3번 水平通路를 지나 落下하면서 右圓柱의 3番 初點機匙를 作動하고 3番 垂直通路를 열면 同時에 3番 水平通路가 닫힌다. 따라서 3更 初點이 報時됐다. 다른 공들도 같은 課程을 되풀이하며, 5更이 끝나면 빗장(뚝, 공이 머물도록 하는 機構의 한가지)을 빼고 공을 빼낸다.

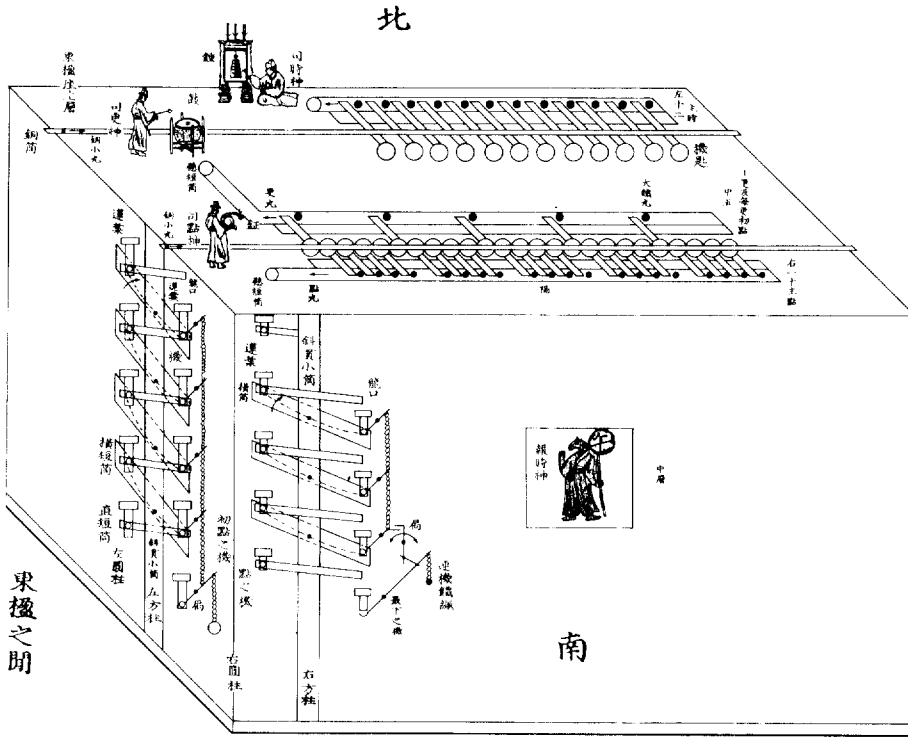


그림 8 報時裝置의 構造

Fig. 8 A pictorial reconstruction of the Striking Clepsydra : Showing night-watches annunciating clockwork, driven by iron balls. On the upper storey sat and stood three immortals as announcers, sounding double-hour by a bell, night-watch by a drum and division of night-watch by a gong. On the storey below the middle was displaying double-hour immortal by a placard.

3. 4. 2. 點機

點機의 動作原理에 대해서는 앞서 2.2節의 段階 15-21番 課程에서 說明하였다. 關係되는 原文은 2.2節을 參考하기 바란다. 該當되는 쇠공들은 點機匙 5個[註: 右圓柱內的 10個 機匙中 5個], 斜貫小筒(水平通路) 및 直小筒(垂直通路) 各各 4個를 위에서 밑으로 落下하면서 機能을 遂行한다.

지금까지의 記述과 그림 3의 (4)-(6)의 入出力關係를 바탕으로 그림 6의 NWD部分과 같은 等價 모델을 얻을 수 있다. 그림 7의 오른쪽 部分(右圓柱의 오른쪽과 右方柱)은 點機에 該當하는 部分이다. 動作順序를 例示하면, 3番 공은 落下하면서 右圓柱의 1番 點機匙를 作動하고 1番 垂直通路를 지나 2番 點機匙를 作動하고 2番 垂直通路를 지나 3番 點機匙를 作動하고 2番 水平通路를 지나 落下하면서 3番 垂直通路를 열면 同時에 2番 水平通路가 닫힌다. 따라서 3點이 報時되었다. 5番 공은

落下하면서 1, 2, 3, 4, 5番 點機匙를 作動하고 (이 때 5點이 報時될) 4番 水平通路를 지나 落下하면서 위의 2, 3, 4番 水平通路 밑에 머물고 있는 2, 3, 4番 쇠공과 함께 밑으로 떨어진다. 따라서 열렸던 2, 3, 4番 垂直通路는 原來的 狀態로 다시 닫히고 새로운 2, 3, 4, 5點의 싸이클이 完全히 自動적으로 反復된다.

4. 報時裝置의 構造

이것의 構造와 關係된 記事를 引用하면 아래와 같다.

[記: ...東楹之間設座二層上層立三神一司時鳴鐘一司更鳴鼓一司點鳴鉦中層之下設平輪循輪列十二神各以鐵條爲幹而能上下各執時牌更迭報時...

...東楹座下設隔四如甬道狀隔上安大鐵丸大如鷄卵...

…銅筒有二斜設於隔上…右長八尺…

…右立圓柱方柱各二圓柱中空內設機形亦如匙半出半入左柱則五右柱則十方柱斜貫小筒每柱各四一端爲蓮葉一短爲龍口…

…懸短筒二一受更丸一受點丸右方柱每蓮葉下各附直短筒二橫短筒一其橫筒一端接於左方柱蓮葉下…

그림 8은 지금까지 復元한 圖面과 資料를 바탕으로 작성한 報時裝置의 構造이다. 原文에는 “무릇 모든 機械는 감춰져 있어 볼 수는 없고 보이는 것은 紗罩冠帶를 갖춘 나무 人形뿐이다”고 돼 있으나 本 研究에서는 理解를 돕기 위해 更點機에 관계된 內部構造를 透視하여 나타내었다.

[記: …凡諸機械皆藏隱不現而所見者具冠帶木人已此其大率也…]

本 研究에서는 가로 10尺 세로 7尺 6寸 높이 9尺(1尺은 周尺으로 21cm程度)의 6面 構造物을 만들어 그 안에 機器들을 그림 8과 같이 配置하였다. 報時裝置를 受水壺와 接續할 때 最大 높이가 11尺(周尺)을 넘지 않도록 하였으며 칫수가 나타나 있지 않은 更點機는 최대 높이 6척 정도였다.

5. 自動化 시스템으로서의 自擊漏

“나무 人形을 만들어 時間에 따라 스스로 알리게 하고 사람의 힘을 빌리지 않도록 하였다” [記: …制司辰木人隨時自報不假人力…]는 記事의 內容에서 볼때 自擊漏는 이른바 自動化된 報時 시스템이었음을 알 수 있다. 時(time)는 測定된 持續期間(measured duration)이며, 自然의 週期的인 運行이나 人爲的인 timing device에서 2個 事件(event)간의 持續期間을 比較하여 測定한 時間(time interval)과 같은 概念이다. [24, 25]. 自擊漏의 基本時間維持器인 漏時計는 典型的인 液面制御시스템이다. 水位가 一定한 높이에 到達할 때마다 잣대가 結果를 記錄(event marking)할 수 있도록 “채워지면 기울여 뜨리는(fill-and-tip)” 機構를 設置하여 물의 흐름 끝, 時間의 經過를 셀 수 있는 單位(countable unit)로 바뀌 均一한 間隔으로 프로세스 驅動用 1次 信號를 發生시킨다. 이 信號는 增幅되어 豫定된 運動을 發生하도록 計劃된 處理裝置들을 制御하여 生物學的 오토메타의 팔꿈치(elbow)를 作動시킨다. 十二時報時 시스템에서는 鍾을 쳐주는 機構에다 自動制御用 디바이스를 써서 報時人形을 上下로 運動시키는(jumping jack) 機構가 連動하여 聽覺과 時覺의 始作과 持續을 거의 同時에 알린다. [南, 1988] 이러한 機能을 가졌던 自擊漏는 오늘날에 말하는 하나의

自動化 시스템이었다. 當時에는 理論보다는 實技(control practice)의 時代였으므로 오늘날의 自動化나 制御의 範疇에서 생각할 수는 없지만 오늘에 評價해도 매우 卓越한 工學 시스템의 하나임에는 틀림이 없다. 이것은 自動人形裝置(automata)의 神秘성과 一過性을 超越한 時間測定 및 報時 시스템으로서 精密技術의 極緻이며 時間測定史에 길이 빛날 記念碑的인 計時機이다. [27] 金鑣이 序文에서 매우 正確하고 神秘롭고 東方에는 前에 없던 훌륭한 것[…參究儀象與天不差眞若鬼神守之者莫不駭嘆實吾東方前古所未有之盛制也…]이라 했으나 當時의 記錄인 諸家曆家集과 科學史의 研究로 이것의 源流가 밝혀지고 있다. [8, 18-19, 21] 自擊漏는 元史에 記錄이 傳하는 大明殿燈漏에서 아이디어를 얻은 것이 分明하며 이 燈漏는 現在 Antioch와 Fez에 남아 있는 al-Jazari(1206)의 것에서 影響을 받은 것으로 밝혀졌다. 公의 落下를 利用하여 만든 15世紀 朝鮮의 自動報時裝置에는 Fez(모로코)에서 發生한 아이디어가 먼 길을 急速하게(2世紀나 지나서지만) 달려와 漢陽(Seoul)에서 滿開했음을 알게 해주는 特徵이 있으며 이것은 前近代의 偉大한 文明가운데 아이디어의 힘을 實感케 하는 좋은 본보기임에 틀림없다. [19]

本 研究에서 살펴 본 報時 시스템에서 公의 落下를 利用한 驅動方式은 아라비아 漏時計에서 아이디어를 얻은 것이지만 그것들을 곧바로 模倣한 것은 아니었다. 앞으로 韓國과 中國(특히 元代)과 아라비아와의 交流에 대한 科學史的 研究가 進階됨에 따라 自擊漏의 科學技術史의 位置가 確立될 것으로 期待된다.

後 記

本 研究의 動機는 1984年 6月 2日 19回 計測制御 시스템 研究會 學術發表가 끝난 후 마련된 懇談會 席上으로 거슬러 올라간다. 當時의 話題는 自動制御와 關聯된 우리나라의 傳統機器와 技術을 發掘해보자는데 意見이 모아지고 自擊漏가 研究課題로 定해져 1年 後에 中間結果를 發表하기로 筆者에게 任務(?)가 주어져 다음해 6月 8日 서울大 教授會館에서 첫 研究發表를 가졌다. 學界先後輩들의 激勵에 힘입어 研究를 계속하던 중 韓國科學財團과 三星時計의 支援을 받게 되어 研究는 活氣를 띄우게 되었다. 延世大 東方學志에 發表한 論文을 韓國科學技術史研究에 造詣가 깊은 Cambridge 大學의 Needham 博士와 Combridge 氏 [IEE 正會員, 蘇頌(1088)의 渾天儀, 宋以穎(1669)의

渾天時計(國寶230號)를 復元한 분], London의 Science Museum의 Hill博士(이슬람 물時計研究의權威者)에게 보냈더니 激勵便紙와 함께 最近의 資料를 보내왔다. 이제 自擊漏는 大部分의 機構를 復元할 段階에 와 있으며 멀지 않아 우리 앞에 우람했던 옛 모습을 일부나마 들어내리라 기대된다. 自擊漏는 우리나라의 傳統技術을 代表할 만한 民族의 遺産으로서 이것이 復元되면 첨단기술 시대를 살고 있는 우리들에게 祖上들이 이루었던 찬란했던 科學文化를 일깨워 주는데 一助를 하리라 믿는다. 그간 筆者를 激勵하고 도와주신 關係機關의 여러분들과 學界의 先後輩들에게 깊은 感謝를 드립니다.

本 研究 三星時計株式會社의 研究費支援으로 이루어졌음

참 고 문 헌

- [1] 全相運: 韓國科學技術史, 正音社, 서울, 1983.
- [2] 朴星來: 世宗代之 天文學의 發達, 世宗朝文化研究(1), 韓國精文研編, 서울, 1984.
- [3] 南文鉉: 15世紀 韓國의 물時計에 대한 制御工學의 解析, 大韓電氣學會計測制御研究會 春季學術會議 論文集, 1985. 6. 8., 서울대학교.
- [4] 南文鉉: 물時計를 利用한 韓國의 時間測定 方法에 대한 시스템研究, 建大產技研報 10輯, 1985.
- [5] 南文鉉: 世宗朝의 漏刻에 관한 研究, 東方學志(延世大), 57輯, pp. 53-94, 1988.
- [6] 崔南善: 朝鮮常識問答續編, 三星美術文化文庫 17, 서울, 1972.
- [7] 東國輿地勝覽, 中宗 25年(1530)刊, 古典刊行會影印本, 서울, 1964.
- [8] 增補文獻備考, 英祖 46年(1770), 古典刊行會影印本, 1967.
- [9] 成周憲 編: 國朝曆象考, 正祖 19年, 1795.
- [10] 李純之 編: 諸家曆象集, 世宗 27年(1445)刊.
- [11] 蘇頌: 新儀象法要, 錢熙祚編 守山閣叢書, 58冊, 1884.
- [12] 世宗莊憲大王實錄, 國編, 서울, 1955.
- [13] 宋史, 48卷, p. 15. 文淵閣四庫全書.
- [14] 元史, 43卷, p. 13, 48卷, p. 7. 文淵閣四庫全書.
- [15] 漏籌通義, 發行年度未詳.
- [16] Mayr, O.: The Origins of Feedback Control, MIT Press, Cambridge, MA, 1970.
- [17] Needham, J. Wang Ling and price, D.J.: Science and Civilisation in China. vol.1, 3 and 4, Cambridge University Press, 1954.
- [18] Needham, J.: Wang Ling and Price, D.J.: Heavenly Clockwork, The Great Astronomical Clocks of Medieval China, Cambridge University Press, 1960.
- [19] Needham, J., Lu, G.-D., Combridge, J.H. and Major, J.S.: The Hall of Heavenly Records: Korean Astronomical Instruments and Clocks 1380-1780, Combridge University Press, Cambridge, 1986.
- [20] Combridge ; J.H.: The Chinese Water-Balance Escapement, Nature, vol.204: pp. 1175-1178, 1964.
- [21] Wiedemann, E. and Hauser, F.: Uber die Uhren im Bereich der Islamischen, Akademie der Naturforscher, 100 : no. 5(Halle, 1915), pp. 42-166, and Uhr des Archimedes und Zwei Andere Vorrichtungen, op. cit., 103, no. 2(Halle, 1918).
- [22] Rufus, W.C.: Korean Astronomy, Trans. Korea Branch of the Royal Asiatic Society, vol. 26, 1936.
- [23] Verveen, A.A.: In search of processes: The early history of cybernetics, Math. Biosci. 11 : 5-19, 1971.
- [24] Sydenham, P.H.: Measuring Instruments: Tools of Knowledge and Control, Peter Peregrinus LTD, 1979.
- [25] Milham, W.I.: Time & Timekeepers, Including The History, Construction, Care and Accuracy of Clock and Watches, MacMillan, New York, 1929.
- [26] Hill, D.R.: Arabic Water-clocks, Inst. Hist. Sci. Univ. Aleppo, Aleppo, Syria, 1981.
- [27] Hillier, M.: Automata & Mechanical Toys: An illustrated history, Jupiter Books(London) Ltd., 1976.