

# 電氣衝擊時人體에 흐르는 電流의 實驗的 考察

## Experimental Investigation of Electric Currents Flowing through Human Body in Electric Shock

金 完 培\* · 安 光 允\* · 尹 泰 源\*  
(Wan Bae Kim, Kwang-Yun Ahn, Tai-Won Yun)  
指導教授 白 壽 鉉\*\*

### Abstract

The effect of electric shock on human body is enormousness, which leads to warmth, tingling, and even death.

The mean values of perception currents obtained on 91 men and 39 women are about 0.77(mA) for men and 0.57(mA) for women. The mean value for women is approximately seven tenths that of men.

An individual can tolerate, with no adverse effects, repeated exposure to the reactions associated with currents of his let-go level, and the mean value of let-go currents obtained from 27 normal men is 6.29(mA).

Lethal currents flowing human body is very dangerous even for a short time. So, it is necessary to have recourse to animal experiments to determine lethal current for human. An analysis of experimental data indicates that body weight and shock duration are important factors in determining the lethal current. It is suggested that the relationship between current and shock duration is given by  $I=K/\sqrt{T}$ , and lethal current is proportional to body weight, where  $I$  is the current in milliampere, and  $T$  is the time in seconds.

### 目 次

#### Abstract

#### I. 序 論

#### II. 實驗裝置 및 實驗方法

1. 實驗對象
2. 測定回路 및 測定機器
3. 實驗方法

#### III. 實驗結果 및 考察

1. 人體의 感知電流
2. 人體의 離脫電流
3. 致死電流와 通電時間과의 관계
4. 致死電流와 體重과의 관계

#### IV 結 論

#### 參考文獻

### I. 序 論

電氣衝擊이 人體 및 生體에 미치는 影響은 莫大한 것으로서 작게는 가벼운 놀람이나 심한 衝擊에서 심치어는 죽음에까지 이르게 하는 경우가 許多하다. 이러한 電氣災害를 일으키는 主된 要因은 電流로 判明되어 있다.

특히 우리나라에서는 電力의 效率의인 供給을 위해 現在의 100[V] 家庭用 供給電壓의 220[V] 昇壓化計劃에 따라 新設地域은 이미 220[V]로 供給하고 있으며 既存地域은 段階의으로 昇壓化가 進行되고 있다.

이와 같은 昇壓의 實現에 따라 人間에 미치는 電氣의 災害의 頻度 및 危險度가 增加될 것이며 아울러 家庭用 및 産業用 電氣機器의 急速한 보급으로 각종 電氣

\* 東國大學校 工大電氣工學科 3年在

\*\* 正會員: 東國大 工大 電氣工學科 助教授

事故의 기회가 급증한 것으로 예견된다.

그러나 우리나라에서는 現在 漏電 및 感電事故의 防止對策으로 漏電遮斷器에 의한 保護方式을 채택하고 있으나 關聯機關 및 使用者에 對한 철저한 原因檢討가 없었으며 漏電遮斷器의 遮斷電流 및 遮斷時間에 관한 精確한 資料가 未備한 實情이다.

이와 같은 觀點에서 우리는 電氣感電事故의 危險要因이 될 수 있는 다음 項目을 人體 및 動物實驗을 통하여 測定하고 統計的으로 分析함으로써 電氣災害防止를 위한 基本的인 資料를 얻고자 하는데 力點을 두었다.

- (1) 人體의 感知電流
- (2) 人體의 離脫電流
- (3) 致死電流와 通電時間과의 관계
- (4) 致死電流와 體重과의 관계

II. 實驗裝置 및 實驗方法

1. 實驗對象

本 實驗에서 택한 實驗對象은 表 1과 같다. 人間에 危險하다고 볼 수 있는 電流를 實測한다는 것은 不可能하므로 人間에게 아무런 後遺症을 주지 않는 電流範圍에서는 人를 實驗對象으로 하였고 그 以上の 電流에서는 쥐와 개를 實驗對象으로 하였다.

또한 實驗動物의 體重은 通電電流의 體重에 대한 依存性을 파악하기 위하여 몇 段階로 區分하였다.

표 1.

실험대상	평균체중	실험대상수	비	고
Mouse	24g	42	成	體
Rat	114g 256g	30	生後四個月	成 體
Dog	10.9kg	43	成	體
Man	58kg 42kg	91	Male(成人)	Female(成人)

2. 測定回路 및 測定機器

(1) 測定回路

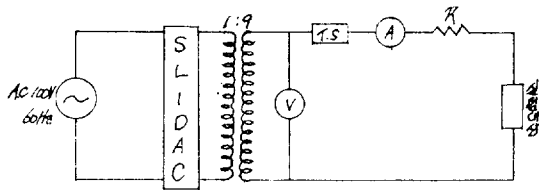
本 實驗에서 人體의 通電電流 測定에 사용된 回路圖 및 Timer Switch의 回路圖는 各各 그림 1, 그림 2와 같다.

(2) 測定機器

本 實驗에 사용된 實驗機器의 仕様은 다음과 같다.

ㄱ) Synchroscope

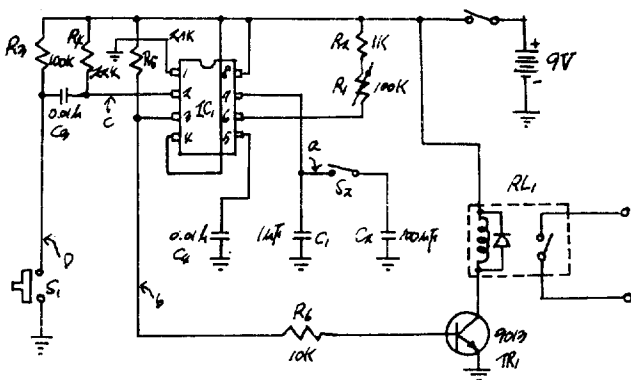
- TRIO Co. Model-cs 1554 (Dual Trace)
- 測定範圍: 電壓-10mV/cm~20V/cm



- T.S: Timer Switch
- A: ampere meter
- R: Resistance
- V: Voltage meter
- Tr: Transformer

그림 1. 實驗에 使用한 回路

Fig. 1. The circuit for measurement.



- RL<sub>1</sub>: reed relay
- IC<sub>1</sub>: NE 555
- TR<sub>1</sub>: 9013
- R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>: Timing Resistor
- C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>: Timing Condenser
- S<sub>2</sub>: Timing Switch
- S<sub>1</sub>: Start Switch (push button)
- C<sub>3</sub>: Start Condenser
- C<sub>4</sub>: by-pass condenser

그림 2. 타이머 스위치의 回路圖

Fig. 2. The circuit of timer switch

Sweep time-0.5μsec/cm~0.5sec/cm  
frequency-DC~10MHz AC2Hz~10MHz

ㄴ) Digital Ampere meter

- Honest Electron Co. Model-1500
- 測定範圍: 1μA~1A

ㄷ) Volt Meter

- YEW Model-2300
- 測定範圍: 0~1000[V]

ㄹ) Transformer

- Freed Transformer Co.製
- 入力: 出力=115[V]: 900[V]

ㅁ) 슬라이더

- 大興社製

○出力範圍 : 0[V]~130[V]

ㄴ) Timer Switch

○動作範圍 : 2.6ms~27sec

3. 實驗方法

(1) 사람

人間에게 安全하고 전혀 後遺症을 남기지 않는 感知 電流와 離脫電流는 다음과 같은 方法으로 測定하였다. 우선 測定 前에 實驗 對象者의 體重을 재고 오른손의 濕氣를 可能한 完全히 제거한 상태로 直徑 2.6[mm]의 銅線을 오른손에 接속하고 왼발은 두께 0.2[mm] 銅板 위를 밟게 하였다. 通電經路를 오른손과 왼발로 택한 것은 이것이 一般의인 感電事故의 經路가 되고 있기 때문이다. 感知電流 및 離脫電流는 實驗 對象者의 言語表現에 의해서 결정하였다. 이 경우 感知電流와 離脫電流의 實驗값을 조금 더 明確히 파악하는 데에는 實驗對象者의 主觀에 크게 좌우될 수 있으므로 여러회 걸친 實驗으로 實驗값에 대한客觀性을 얻도록 하였다.



그림 3. 사람에 대한감지전류의 측정  
Fig. 3. Measurement of perception Current for men.

(2) 쥐

致死電流를 測定하기 위해서 實驗動物로 쥐를 택하였다. 實驗前 쥐의 體重을 재고 오른쪽 앞다리와 왼쪽 뒷다리를 電氣接點으로 하여 裸銅線으로 接續이 離脫하지 않게 回路에 連結하였다.

먼저 Timer에 의해 通電時間을 결정하여 쥐에게 電流를 흘린 다음 쥐의 동태를 관찰하여 電流값을 電流計로 測定하였다. (그림 4참조)

致死電流 값보다 낮은 電流를 通했던 쥐들은 電流에 對한 後遺症의 有無를 알아 보기 위하여 24時間 以上の



그림 4. 쥐에 대한 치사전류의 측정  
Fig. 4. Measurement of lethal current for mice.



그림 5. 개에 대한 치사전류의 측정  
Fig. 5. Measurement of lethal current for dog.



그림 6. 전극의 접속상태  
Fig. 6. Contact condition of electrode.

休息을 준 후에 다시測定하여 보았다.

(3) 개

개는 人間の 體重에 近接한 動物로서 人間에게 直接測定하기 곤란한 致死電流를 測定하기 위하여 선택하였다. 그림 5와 같이 견고한 묶음을 만들어 네 다리를 어떠한 움직임에도 接觸이 멀어지지 않게 단단히 固定하였다.

電流의 測定方法은 쥐와 同一한 方法으로 行하였다.

Ⅲ. 實驗結果 및 考察

1. 人體의 感知電流

人體에 흐르는 電流를 서서히 增加시키면 人間은 어느 電流值에서 最初로 通電感을 갖게 된다. 이와 같이 人間이 最初로 電流의 흐름을 느끼기 시작하는 電流를 感知電流라 한다.

그림 7은 男子 91名 女子 39名에 대해 測定한 感知電流를 確率紙에 나타낸 것이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 實驗結果는 直線의인 變化를 나타내며 이는 人體의 反應이 正規分布에 따르는 것으로 볼 수 있으므로 本 實驗結果는 統計의으로 解析할 수가 있다. 즉 男子의 感知電流는 0.46~1.67[mA], 女子는 0.34~1.01[mA]의 範圍에 걸쳐 分布하고 있다. 이때의 男女 각각의 平均값은 男子는 0.77m[A] 女子는 0.57[mA]

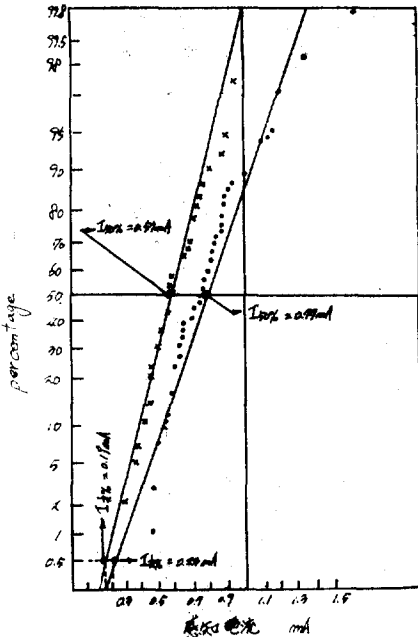


그림 7. 남자와 여자에 대한 感知電流의 분포  
Fig. 7. Perception current distribution curve for men and women.

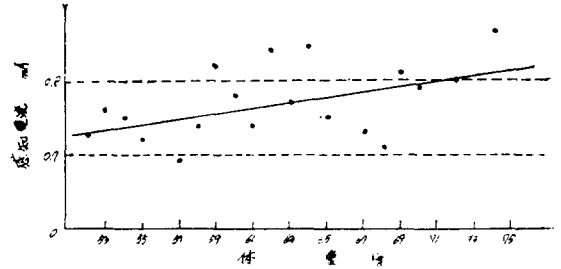


그림 8. 感知電流와 體重과의 관계  
Fig. 8. Relationship between perception current and body weight.

로 女子는 男子의 感知電流값의 약 7/10에 해당한다. 이 값은 다른 論文<sup>(1)</sup>에서의 값보다 약간 작은 값이나 實驗方法上的의 차이 또는 體質上的의 차이를 考慮해 볼때 대체로 一致한다고 볼 수 있다.

한편 그림 8은 感知電流와 사람의 體重과의 관계를 나타낸 것으로 一般的으로 體重이 增加함에 따라 感知電流도 약간 增加하였으나 큰 變化는 없는 것으로 생각된다.

2. 人體의 離脫電流

通電電流의 크기를 感知電流 以上으로 增加시키면 몸이 저러오는 刺戟을 느끼게 되고 筋肉의 收縮을 隨伴하게 되어 苦痛은 더욱 심하게 된다. 이때 實驗對象者가 電流가 흐르는 것을 계속 참을 수 있고 그 電流의 刺戟을 직접 받고 있는 筋肉이 導體를 實驗對象者

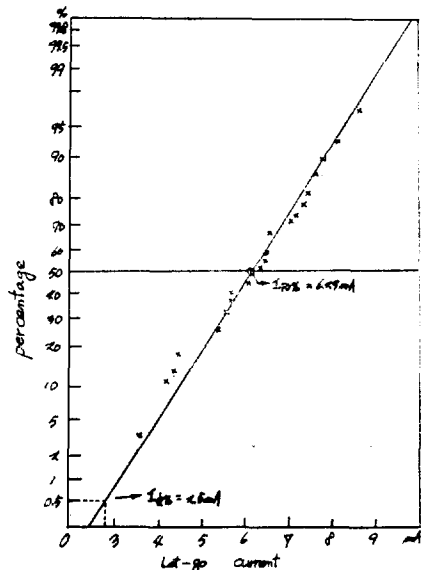


그림 9. 남자에 대한 이탈전류 분포(A.C 60Hz)  
Fig. 9. Let-go current distribution curve for men, 60-Hz commercial alternating current.

의 意志대로 놓을 수 있는 最大電流를 離脫電流라 한다.

그러므로 正常的인 사람이 離脫電流의 크기의 電流에 反復해서 接觸되었을 때 아무 뚜렷한 後遺症 없이 참을 수 있는 電流의 크기를 決定하는 것은 대단히 重要的 事이다.

그러나 이러한 離脫電流를 사람에게 直接 測定한다는 것은 경우에 따라서는 深刻한 危險을 隨伴할 수도 있으므로 相當한 注意가 要求된다. 本 實驗에서는 實驗對象者가 苦痛을 호소하면서 最大로 참을 수 있는 電流를 醫師의 立會下에 測定하였다. 男子 27名으로부터 얻은 離脫電流 값들의 分布는 그림 9와 같고 正規 分布를 따르고 있으며 그 平均값은 約 6.29[mA]가 되었다.

3. 致死電流와 通電時間과의 關係

生體에 큰 電流가 흐르게 되면 生體는 生命을 잃게 된다. 이러한 影響은 醫學的으로 心室細動(Ventricular fibrillation)에 基因되는 것으로 알려져 있으며 人間의 心臟이 細動을 일으키면 거의 正常的으로 回復되지 않고 致命的인 人命事故를 일으키게 된다. 따라서 心室이 細動을 일으키지 않는 最大電流를 안다는 것은 離脫電流와 마찬가지로 대단히 重要的 問題이다. 그러나 人間에 對한 心室細動 電流를 直接 測定하는 것은 本 實驗 條件상 不可能했다. 이와 같은 實情을 考慮하여 本 實驗에서는 動物實驗을 通하여 統計的으로 人間에 對한 致死電流를 推定하려고 試圖하였다.

動物實驗에 있어서 心室細動의 觀察은 專門인 醫學知識과 特殊한 醫療機具를 필요로 하기 때문에 心室細動의 正確한 測定을 할 수 없었으며 단지 外樣의 人 판단에 의해 呼吸中斷 心臟搏動의 靜止, 四肢의 硬直 狀態를 死亡으로 看做하여 致死電流를 測定하였다.

一般的으로 致死電流는 生體의 體重(W), 通電電流의 크기 (I) 및 通電時間(T) 등의 세가지 因子와 密接한 關係가 있는 것으로 생각된다.

우선 體重 24(g), 114(g), 256(g)의 쥐에 對한 致死電流와 通電時間과의 關係는 그림 10과 같다. 그림 10에서 알 수 있는 바와 같이 通電時間이 1초 以下에서는 致死電流의 變化가 急激하나 通電時間이 길어질수록 曲線은 완만한 變化를 보여 주고 있다.

이것을 조금더 正性적으로 考察하기 위하여 그림 10(a)(b)(c)의 致死電流 값과 通電時間과의 關係를 兩對數 방안지에 옮겨 그리면 그림 11과 같다.

그림 11(a)(b)(c)에서 세 直線의 기울기는 약 -2/1로 서로 비슷한 계항을 나타내었다. 그러므로 이때 致死電流를 I, 通電時間을 T, 비례 常數를 K라 할 때

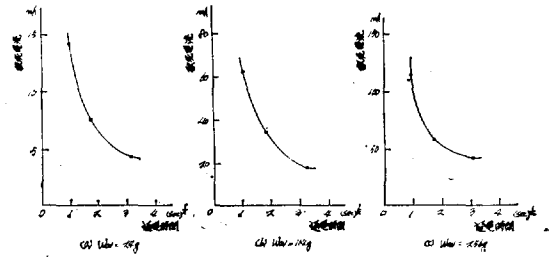


그림 10. 通電時間에 對한 致死電流의 關係(쥐의 경우)  
Fig. 10. Relationship of lethal current to shock duration for mice.

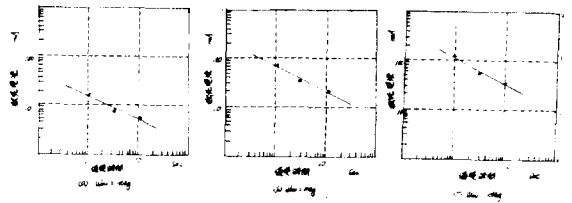


그림 11. 兩對數 눈금으로 表示한 通電時間에 對한 致死電流(쥐의 경우)  
Fig. 11. Relationship of lethal current to shock duration for mice, plotted on log-log graph paper.

$$I = \frac{K}{\sqrt{T}} \tag{1}$$

라는 關係式을 얻을 수 있다.

한편 개에 對한 致死電流를 通電時間 별로 確率紙에 나타내면 그림 12와 같다. 그림 12에서 보는 바와 같이 1(초)에서는 156.2[mA]로 50[%]가 死亡했으며 3(초)에서는 86.4[mA], 10(초)에서는 51[mA]로 通電時間이 增加함에 따라 致死電流值는 낮아졌다. 또한 致死電流와 通電時間과의 關係를 검토하기 위하여 그

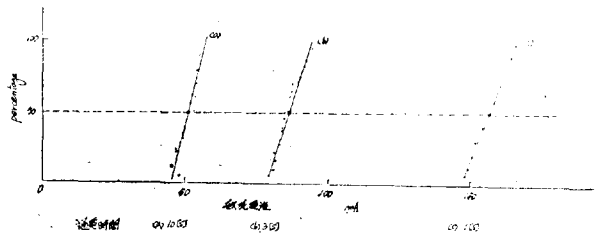


그림 12. 通電時間에 對한 致死電流의 關係(개의 경우)  
Fig. 12. Relationship of lethal current to shock duration for dogs.

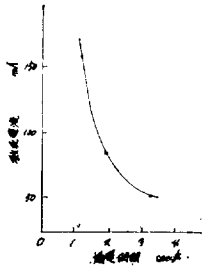


그림 13. 通電時間에 대한 致死電流의 관계(개의 경우): 平均體重 10.9kg

Fig. 13. Relationship of lethal current to shock duration for dogs.  $W_{av}=10.9\text{kg}$

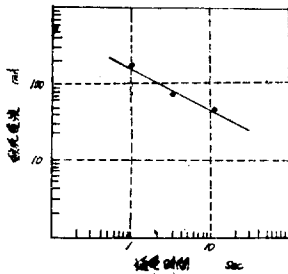


그림 14. 兩對數 눈금으로 表示한 通電時間에 대한 致死電流(개의 경우)

Fig. 14. Relationship of lethal current to shock duration for dogs, plotted on log-log graph paper.

그림 12의  $I$  50%의 값들을 時間軸으로 옮겨보면 그림 13, 그림 14와 같다. 그림 13 그림 14에서 보는 바와 같이 通電時間이 길어지면 낮은 電流값에서도 致命的인 事故가 發生될 수 있음을 나타내고 있으며 또 쥐의 경우와 마찬가지로

$$I = \frac{K'}{\sqrt{T}} \quad (2)$$

의 관계가 成立함을 알 수 있다.

#### 4. 致死電流와 體重과의 關係

그림 15(a)(b)(c)는 通電時間을 1(초), 3(초) 10(초)로 한 경우 쥐에 흐르는 전류( $I$ )와 體重( $W$ )의 관계를 나타낸 것으로서 致死電流 값은 쥐에게 電氣衝擊을 가한 동안 死亡한 값(平均 값)을 意味한다. 그림 15에서 알 수 있는 바와 같이 衝擊에 對한 反應은 廣範圍하게 分布되고 있지만 一般적으로 體重이 增加할 때 이를 致死電流의 값들도 增加하는 傾向을 나타내고 있다.

한편 개의 致死電流와 體重에 대한 관계를 살펴보면 그림 16과 같다. 그림 16은 9kg~14kg의 成體 43마리

를 1(초), 3(초), 10(초)간 通電하여 개의 體重과 電流 사이의 관계를 나타낸 것으로서 쥐의 경우와 마찬가지로 體重의 增加에 따라 致死電流가 比例적으로 增加됨을 알 수 있다.

이상의 實驗結果를 근거로 動物의 體重( $W$ )과 平均

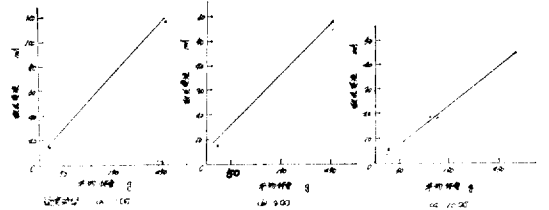


그림 15. 體重에 대한 致死電流의 관계(쥐의 경우)

Fig. 15. Relationship of lethal current to body weight for mice.

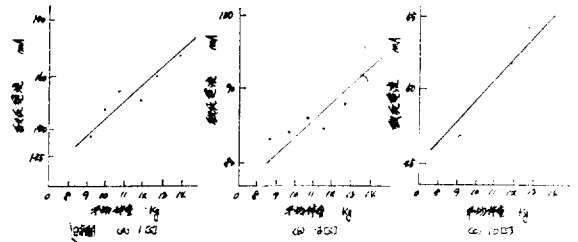


그림 16. 體重에 대한 致死電流의 관계(개의 경우)

Fig. 16. Relationship of lethal current to body weight for dogs.

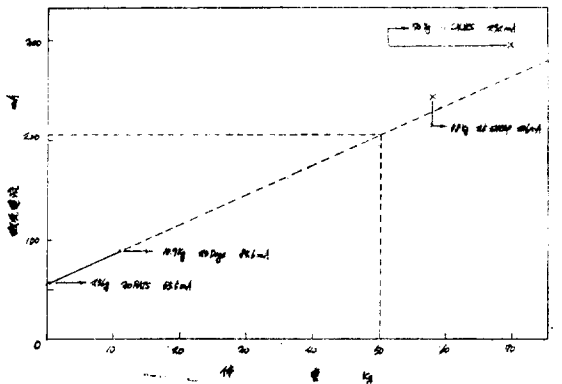


그림 17. 3.0秒의 電氣衝擊時 體重에 대한 致死電流의 관계

Fig. 17. Relationship of lethal current to body weight, 3.0 second shocks

致死電流( $I$ )와의 一般적인 관계를 살펴보면 그림 15-b 와 그림 16-b를 그림 17과 같이 나타낼 수 있다.

그림 17에서 알 수 있는 바와 같이  $I-W$  特性은 직선적인 관계가 됨을 알 수 있으며 그림 17에서 羊 및 송아지에 대한 값은 다른 研究者<sup>(2)</sup>들이 實驗한 값으로써 本 實驗의 結果로부터 推定한 값과 거의 一致됨을 알 수 있었다.

이와 같은 結果로부터 쥐와 개에 대한 平均 致死電流는 體重에 比例한다고 볼 수 있으므로 人間에 대하여 이러한 關係를 적용한다면, 그림 17의 직선으로부터 人間の 致死電流를 推定할 수 있게 된다. 사람을 2~3세의 어린이(平均體重 10kg)의 境遇로 생각할 때의 致死電流는 約 80[mA]가 되며 보통 成人의 (平均體重 50kg) 경우에는 約 200[mA]가 된다. 이 값은 式(2)로부터 얻은 結果와 잘 一致한다.

그러나 사람에 대한 電氣災害를 考慮하려면 最惡의 狀態가 되는 즉, 體重이 적은 어린이를 對象으로 취급하여야만 좀더 合理的인 것으로 생각되어진다.

#### IV. 結 論

本 實驗을 통하여 얻은 結論은 다음과 같다.

1. 感知電流의 平均값은 男子 0.77[mA], 女子 0.57[mA]로 女子는 男子의 0.74배의 값을 갖는다.
2. 離脫電流의 平均값은 6.29[mA]이다.
3. 致死電流는 體重에 比例하고 通電時間의 제곱근에 반비례한다. 이때 通電時間과의 關係式은  $I=K/\sqrt{T}$ 이다.
4. 動物實驗으로부터 推定한 人間の 致死電流는 平均體重을 50kg으로 볼 경우 3(초)의 通電時間에서 200[mA]이다. 平均體重在 10kg정도인 2~3세 小兒의 경우에는 3(초)의 通電時間에서 80[mA]인 것으로 推定된다.

以上은 人間이 電氣的 衝擊을 받을 경우 人間에게 미치는 感知電流, 離脫電流 및 致死電流에 대한 定性的이고 定量的인 解析을 하였으나 電氣的 衝擊에 의해 人間에게 상해를 줄 수 있는 電流 및 通電時間을 一意的으로 定하는 데에는 여러 問題點이 있을 것으로 생

각되어진다. 人間の 生命에 危險을 주는 電流의 값은 대체적으로 體重에 의존되므로 體重의 기준을 어떠한 方法으로 설정해야 하는가 하는 問題가 무엇보다도 重要하다고 생각된다. 이러한 이유로 因하여 人間에게 影響을 줄 수 있는 通電電流와 通電時間이라는 두 重要한 인자의 範圍는 상당히 커지게 될 것이므로 이에 대한 관련 분야의 專門家들의 종합적인 상호 검토가 있어야만 電氣事故로 因한 人間の 災害를 어느정도 줄일 수 있는 對策이 수립되어질 것으로 생각된다.

끝으로 現在 配電壓 220[V] 昇壓에 있어서도 이러한 安全對策의 하나로 漏電遮斷器를 施設하고 있으나 遮斷器의 차단 電流 30[mA] 遮斷時間 0.1[sec] 등은 어느 정도의 合理的인 값인가에 대한 평가를 시도할 필요성은 있을 것으로 생각되어진다.

#### 參 考 文 獻

1. C.F. Dalziel, "Electric shock hazard," IEEE Spectrum, pp. 41~50, Feb, 1972.
2. C.F. Dalziel, et al, "Reevaluation of lethal electric currents," IEEE Trans, Vol. IGA-4, pp. 467~476, Sep/Oct, 1968.
3. C.R. Dalziel, and W.R. Lee, "Lethal electric currents," IEEE Spectrum, pp. 44~50, Feb, 1969.
4. Fred Kremer, et al, "Currents activated circuit breaker," IEEE Transaction on Biomedical Engineering, pp. 418~420, Sep, 1975.
5. L.A. Geds, and L.E. Baker, "Response to passage of electric current through the body," J. Assoc, Advancement of Medical Instr, Vol.2, pp. 13~18, Feb, 1971.
6. 寺澤正義, "電氣安全の基礎知識" 電氣と工事, 4. 5. 6月號 pp. 89~92. 1974.