

日本と低圧配電電圧が昇圧された韓国との電気災害の比較†

富田 一*1, 崔 光石*1, 中田健司*2, 本山建雄*3

既に 100/200V から 220/380V に昇圧された韓国と我が国との電気火災および感電事故を比較して、将来、我が国が低圧の配電電圧として 230/400V が採用された場合に想定される電気安全上の課題について留意点を抽出した。昇圧の進展と電気火災発生件数には相関性が見られ、電気火災の主因である短絡は、その発生過程の究明と防止対策が電気火災防止にとって重要になる。昇圧化後も老朽設備を使用し続けると、電気火災が発生し易くなるので特に注意が必要である。昇圧の進展と感電死傷者数には相関性が見られない。この要因には、有効な接地方式の選定や漏電遮断器の普及が感電事故の抑制に寄与したことが考えられる。昇圧による電気事故を防止するには、配電方式や対地電圧に応じた適切な接地方式の選定や接地技術の開発、電気設備、漏電遮断器の安全性向上などのハード面の安全対策に加えて、電気安全関連法令の遵守、定期点検の徹底、老朽設備を適切に運用するためにメンテナンス体制の整備などのソフト面での安全管理体制の確立も重要である。

キーワード: 配電電圧の昇圧, 電気火災, 感電災害, 日本, 韓国

1 はじめに

エネルギーを効率的に使用して二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量を削減することが、地球温暖化を防止するために必要である。将来、我が国において 20kV 級/400V 配電方式を採用し、低圧電路を現在の単相 3 線式 (100/200V) あるいは三相 3 線式 (200V) から三相 4 線式 (230V/400V) に昇圧するとの案は、配電時のエネルギー損失を低減し、設備・資材を削減できることから注目されている¹⁾。しかし、昇圧化にあたっては、エネルギーを効率的に使用することの他、電気火災や感電に対する電気安全について十分に検証する必要がある。一方、韓国においては、1970 年代から 2005 年まで国家プロジェクトとして配電電圧の昇圧化事業を行い、単相 100V から三相 4 線式 (220V/380V) への昇圧を完了している。この経験は将来、日本が三相 4 線式 (230V/400V) に昇圧化する際に貴重な資料となることが予想される。本稿では、昇圧化した場合に想定される電気安全上の課題を明確にするために、韓国の研究者の協力を得て韓国の電気災害の発生状況と昇圧化の関連、昇圧化期間中の電気火災、感電災害の発生状況を分析した。また、同時期における日本の電気災害の発生状況と比較して昇圧化に伴うと考えられる災害発生要因を分析するとともに、昇圧化に伴う電気安全についても検討した。

2 電気火災

1) 電気火災の推移

電気火災の発生件数の推移を図 1 に示す^{2, 3)}。図に示す電気火災の件数は、建物、林野、車両、船舶、航空機、その他で発生した総数である。

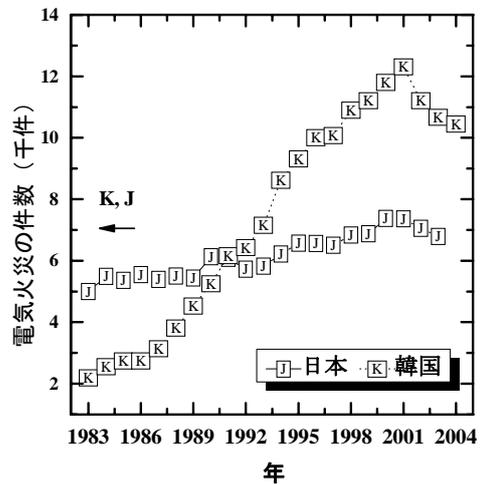


図 1 電気火災発生件数の推移

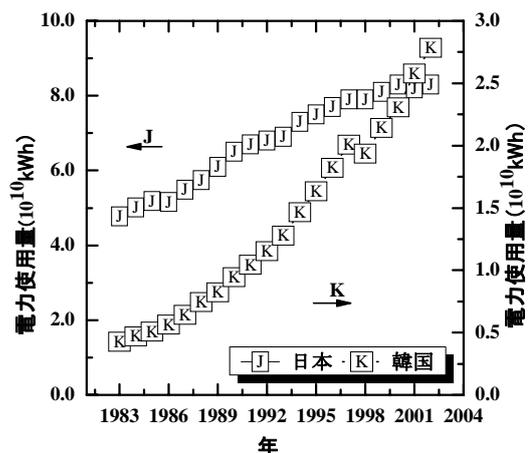


図 2 使用電力量の推移

日本における電気火災は、1980 年代の 5000 件台から近年では 7000 件台に増加している。電気火災の増加要因には、製造など経済活動の進展に伴う使用電力量の増加 (図 2)、需要戸数の増加、小型大容量の電気製品を多

† 原稿受理 2007 年 12 月 19 日

*1 (独) 労働安全衛生総合研究所電気安全研究グループ

*2 テンバール工業 (株)

*3 (独) 労働安全衛生総合研究所

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

(独) 労働安全衛生総合研究所電気安全研究グループ 富田一*1

E-mail: tomita@sniosh.go.jp

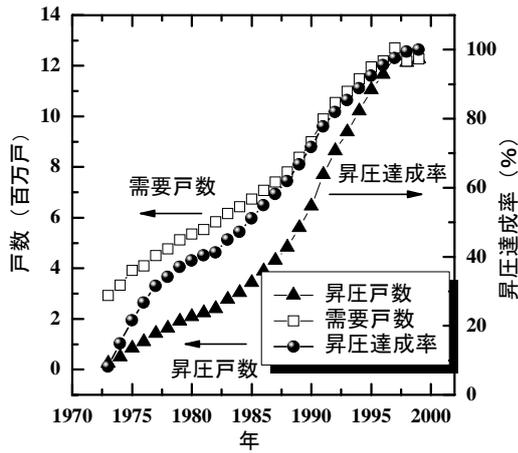


図3 韓国の需要戸数と昇圧戸数及び昇圧達成率

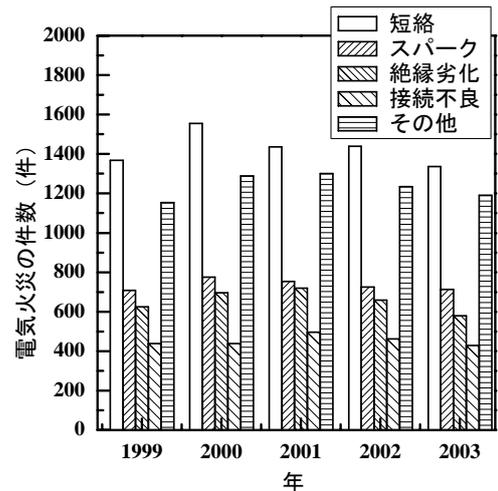
数接続することによる延長コードなどの配線用器具に流れる電流量の増加、工事不良、取り扱い不良およびメンテナンスの不備などが考えられる^{4,6)}。一方、韓国における電気火災は、1980年代の2,000件台から近年では10,000件台を超えており、約5倍に増加している。この間の韓国の電力需要戸数、昇圧化戸数、昇圧達成率の推移を図3に示す³⁾。三相4線式(220V/380V)への昇圧化は、1973年に開始され⁷⁾、1980年代に50%を超え、1999年にほぼ100%に達し、2005年10月に完了した。ただし、昇圧化を開始した当初の需要戸数は少なかったため、電灯の普及も昇圧化と同時に進められてきた。電気火災が増加した原因は、使用電力量の増加(図2)、需要戸数および昇圧達成率の増加(図3)、老朽設備の継続使用などが考えられる。また、昇圧化事業の過程において、不完全な漏電対策、配線機器の不良、粗悪な単巻変圧器の使用による電力損失増加などの要因によって電気事故が増加した⁸⁾。

日本の電気火災の増加率は韓国と比べると低く、電気火災件数は微増であるのに対し、韓国の電気火災の増加率は高く、1991年以降は日本の件数を上回っている他、人口に対する割合も高い。

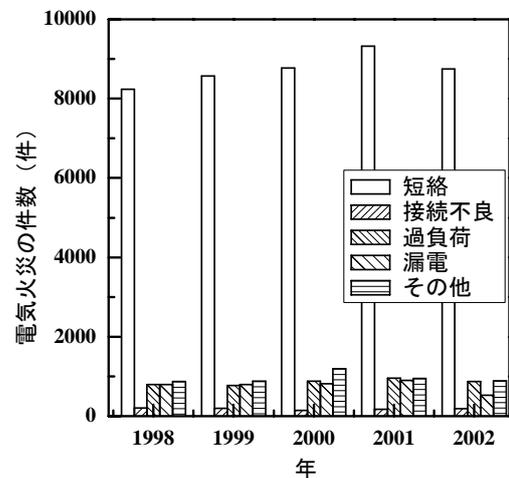
2) 電気火災の主な発火要因

原因別にみた電気火災の発生推移(1998年～2003年)を図4に示す^{2,3)}。なお、韓国の「絶縁劣化」のデータは「漏電」の項目に含めている。

日本では、全電気火災の約30%が「短絡」によって発生しており、屋内配線、交通機関内配線、配線器具、電気機器、電気装置のいずれの設備においても主な原因となっている。その他で多い要因には、「絶縁劣化」、「スパーク」などがある。韓国では、電気火災のほとんどが「短絡」に起因して発生しており、特に屋内配線および照明装置ではその割合が高い。「短絡」を原因とする火災件数の増加は、使用電力量、需要戸数、昇圧達成率、コードや配線用器具に流れる電流値の増加、工事不良、メンテナンスの不備などの影響が考えられる。また、韓国においては、火災原因が不明である場合や短絡と推定される



(a) 日本



(b) 韓国

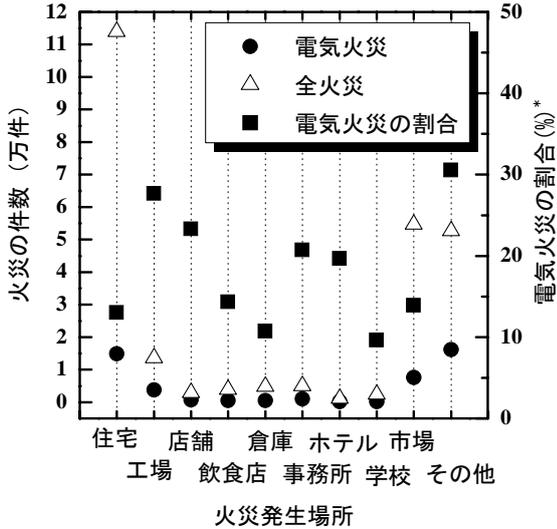
図4 原因別の電気火災発生数の推移

場合にも「短絡」に分類しがちな傾向にあるため³⁾、その判定方法の影響も考えられる。

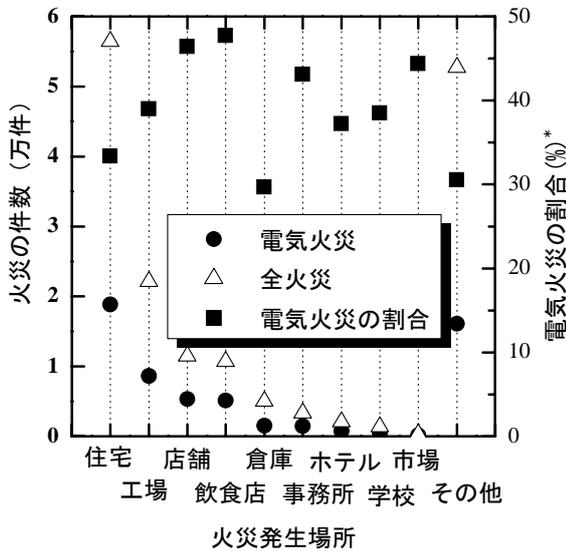
3) 電気火災の発生場所

電気火災(1997年～2002年)の発生件数を建築物の発生場所ごとに分類して図5に示す^{2,3)}。同図において、住宅の項目にはアパート(マンション)、工場には作業場、ホテルには旅館がそれぞれ含まれている。日韓両国とも件数に違いはあるものの、総火災件数及び電気火災件数とも火災発生場所として住宅が最も多い。この理由として、住宅戸数が多いこと、長時間の電化製品の使用、不適切な電化製品の使用などが考えられる。

一方、火災全体に対する電気火災の割合は、日韓両国とも工場、店舗、事務所、ホテルなど使用電力量が多い場所で高い。また、韓国の電気火災の割合は、日本に比べ2倍以上多い傾向にあり、店舗、飲食店、市場(屋台)の火災の約50%が電気火災である。これらの建築物の電気火災は、老朽設備の継続した使用、電気機器の点検の未実施などメンテナンスの不良が原因と考えられる。



(a) 日本



(b) 韓国

図5 発火場所別電気火災

(* : 総火災に対する電気火災の割合)

4) 電気火災の月別発生原因

月別に分類した電気火災発生状況(1995年~2002年合計)を図6に示す^{2,3)}。日韓両国とも発生件数に違いはあるものの冬季と夏季に電気火災が増加する傾向については一致している。

冬季は、移動電熱器を発火源とする電気火災が多く、夏季は、家電機器、モータ、変圧器、配線用遮断器、進相コンデンサなどを発火源とする電気火災が多くなる。夏季はエアコンなどの使用により電力使用量⁹⁾やインバーターによる高調波電流¹⁰⁾が増加し、これらの要因と装置の老朽化、施工やメンテナンスの不良などが相まって火災に繋がったものと考えられる。

5) 電気火災と昇圧との関連 電気火災の主な原因と

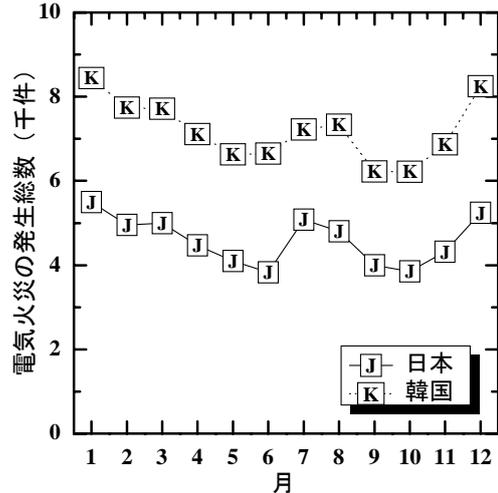


図6 月別の電気火災発生件数の推移

して、短絡や過負荷に伴う過電流および漏電がある。これらの原因から電気火災の発生と昇圧との関連を電気エネルギーの大きさにより検討する。

(1) 過電流

短絡や過負荷時には過電流が電線を通る。過電流を遮断するためヒューズや配線用遮断器が設置されているが、それらが作動するまでは電気エネルギーが供給されることになる。電気エネルギーは流れる電流の2乗に比例することから、流れる電流に対する昇圧の影響について次の条件の下で検討した。

完全に短絡した時の短絡時の定常電流 I_s は、式(1)で表される¹¹⁾。図7に示す推定短絡電流は、電線、コードの長さを変数として、式(1)と以下の算出条件の下で計算している¹²⁾。なおここでは短絡時の現象を大局的に把握することを目的としているため、過渡電流は考慮していない。

$$I_s = \frac{E}{\sqrt{\left(\frac{V^2 \% R_T}{100P} + R_L\right)^2 + \left(\frac{V^2 \% X_T}{100P} + X_L\right)^2}} \quad (1)$$

I_s : 短絡電流

E : 相間電圧

V : 相電圧

P : 変圧器の容量

$\%R_T$: 変圧器の%抵抗成分

$\%X_T$: 変圧器の%リアクタンス成分

R_L : 電線・コードの抵抗成分

X_L : 電線・コードのリアクタンス成分

※算出条件

変圧器	: 二次側 単相3線式, 容量 30kVA
	$\%Z = 1.25 + j0.90$ (外線-中性線間 100V)
	$\%Z = 1.50 + j1.70$ (外線-外線間 200V)
引込電線	: サイズ 8mm ² , 長さ 30m
屋内電線	: サイズ 1.6mm ϕ 2C, 長さ 20m
コード	: サイズ 0.75mm ² , 長さ 10m 未満

式(1)、図7に示すように、推定短絡電流は電圧に比例することから、火災の発生は、電圧に依存するといえるが、実際には電流に対する過電流遮断器の動作特性やアーク放電などを考慮する必要があり、後述する4.1)で考察する。なお、実際の短絡電流値は、短絡点にアーク抵抗や炭化経路の抵抗などが介在することから完全短絡電流値以下となる^{13,14)}。

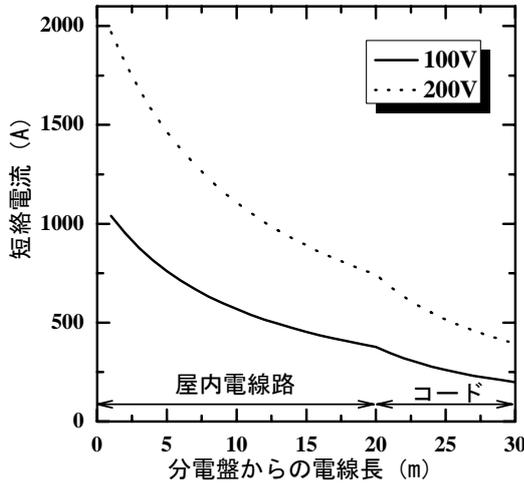


図7 完全短絡時の推定短絡電流

(2) 漏電

抵抗 R に発生するエネルギー W_1 は式 (2) で表される。

$$W_1 = IVt = \frac{V^2}{R}t \quad (2)$$

(I : 電流, V : 電圧, R : 抵抗, t : 持続時間)

式 (2) において I を一定とすると、200V において供給されるエネルギーは100V の場合の2倍になり、 R を一定とすると、4倍になる。絶縁材料は固有の炭化温度あるいは発火温度を有していることから、原因の除去に要する時間がこれらの閾値を超えると火災に至ることになる。

厳密には、熱の出入り、 R の変化などを考慮する必要があるが、火災の発生は電圧に依存するといえる。特に、韓国の場合、図1及び3に示すように、電気火災の発生と昇圧達成率に相関があることから、電気火災の発生件数は昇圧化の影響があったものと推定される。この理由として、電線等の絶縁性能が不十分なために線間での短絡が発生していたことが考えられる。

3 感電事故

1) 感電事故の推移

感電事故による死傷者の推移を図8に示す^{3,15)}。日本における感電死者数は、1980年代前半には100人を超えていたが、年々減少し、2002年には21人となっている。これは、一般用電気工作物における漏電遮断器の普及率が1980年代前半の40%から近年では73%¹⁶⁾に増加したこと、漏電遮断器等の安全装置の普及、電気機器

のモールド化による露出充電部の排除、優れた絶縁材料の開発による絶縁劣化の減少などが挙げられる。電気工事作業での感電災害の減少には、絶縁用保護具・防具や活線作業車の普及、作業方法の改善、安全教育の徹底などが挙げられる。

韓国における感電死者数は、日本と同様に年々減少し、1980年後半の250名から2003年には72名まで減少している。なお、1987年以前のデータは現在入手できていない。韓国では1979年に電気事業法および電気設備技術基準を通じて漏電遮断器の設置を義務¹⁷⁾づけていることから、昇圧されたにもかかわらず漏電遮断器の普及にともない感電死者数が減少したと考えられる。両国において、単純に感電死傷者数を比較すると、日本の感電死傷者数が100~200名であるのに対し、韓国の死傷者数は800~1000名であり(1993年以前のデータは未入手)、大きな差がある。この一因としては、低圧の配電電圧について、韓国が日本の約2倍高いため一度感電すると火傷などの労働災害に至る確率が高くなることが考えられる。

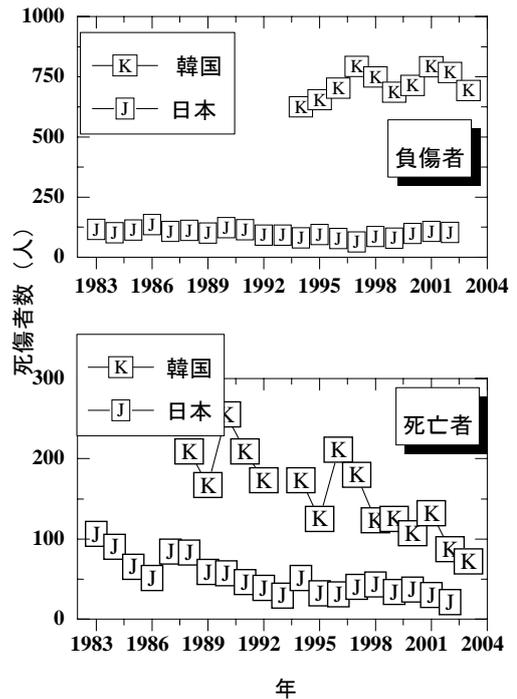


図8 感電事故による死傷者の推移

2) 感電事故の電圧別発生原因

電圧区別の感電事故(1996年~2002年合計)の状況を図9に示す^{3,15)}。電圧区分の定義は、両国とも、「低圧」は直流750V以下、交流600V以下の電圧、「高圧」は直流では750Vを超え7000V以下、交流では600Vを超え7000V以下の電圧、「特別高圧」は直流、交流とも7000Vを超えるものである。

日本の場合「200V」の感電事故は、「100V」の場合の約3倍である。一方、韓国の場合、「220V」の感電事故

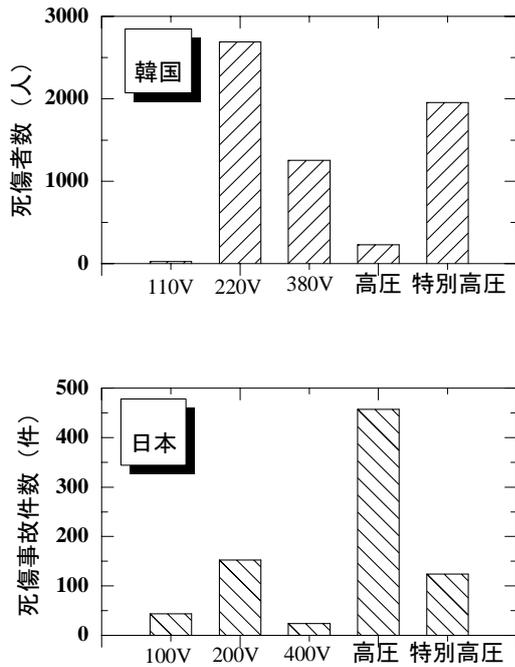


図9 電圧区分別の感電事故

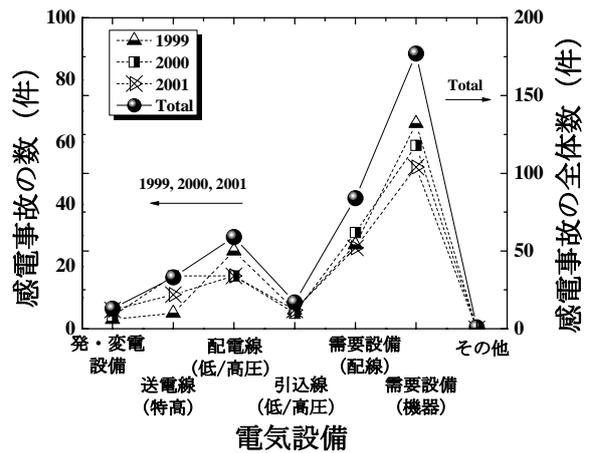
(死傷者)が電圧区分の中で最も多い。また、1999年に昇圧達成率がほぼ100%に達していることから、110Vの感電事故は「220V」に比べて少ない。日韓両国の配電方式や対地電圧は異なっており100Vと200Vあるいは220Vの感電危険性について図9の数値の大きさから直接比較することは困難であるが、電圧値だけで単純に比較しても100Vに比べ200Vは危険であり、韓国の場合、重傷および死亡に至るケースが増加し、「220V」の感電死傷者が多くなったと考えられる。

韓国の場合、三相の電圧である「380V」の感電事故件数も多い。韓国におけるサンプリング調査の結果、工場に設置された分岐回路の約80%には漏電遮断器が取り付けられているが、工場や農業用などの三相の動力系統には漏電遮断器ではなく配線用遮断器が取り付けられていることが多かった¹⁸⁾。そのため感電保護ができず感電事故が多くなったとも考えられる。

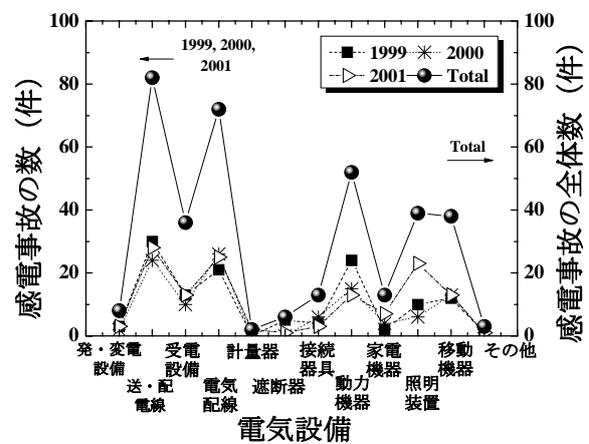
日本と韓国では「高压」と「特別高压」の感電事故件数が逆転している。これは、需要家の近くまで配電する電圧に、日本においては6.6kVの高压を使用している一方、韓国では柱上/地上変圧器で22.9kVを220/380Vに降圧して住宅、工場などに電力を供給していることが考えられる。

3) 感電事故の電気設備別発生原因

電気設備別の感電事故を図10に示す^{3,15)}。日本においては、需要設備の配線および機器における感電事故が多い。発・変電設備、送電線、高压配電線、高压の引込線での感電事故は、一般に公衆が近づく可能性は少なく、作業者の感電がほとんどであるため感電事故件数は少ないが、電圧値および対地電圧値が低圧の需要設備の場合に比べて高いため、感電死亡事故に至る場合が多いと考



(a) 日本



(b) 韓国

図10 電気設備別の感電事故

えられる。韓国においては、送配電線での感電事故が最も多く、これは特別高压(22.9kV)での活線作業の普及や高所作業の影響と考えられる。また、分類項目は多少異なるが日本と同様に需要設備の電気配線や機器(受電設備、動力機器、照明装置、移動機器)における感電事故も多い。理由としては、受電設備は、変圧器の一次側電圧が特別高压の22.9kVであること、三相動力系統の保護装置として配線用遮断器の場合が多いこと、照明装置は、高所作業になること、移動機器は、屋外で使用する事が多く接地を怠りがちになることが考えられる。

4) 感電事故の月別発生原因

月別の感電事故推移(低圧:1995年~2002年合計)を図11に示す^{3,19)}。ただし、日本の場合は、統計の都合上、労働災害における感電死亡者数を使用した。日本では高压での感電事故は季節に依存しないが、昇圧した韓国ではそのような傾向は見られない。両国とも発汗によって人体抵抗が低下するとともに注意力も散漫になる夏季に感電事故が増加する傾向がある。

5) 対地電圧と感電の関連

日本の場合、電技解釈162条(屋内電路の対地電圧の

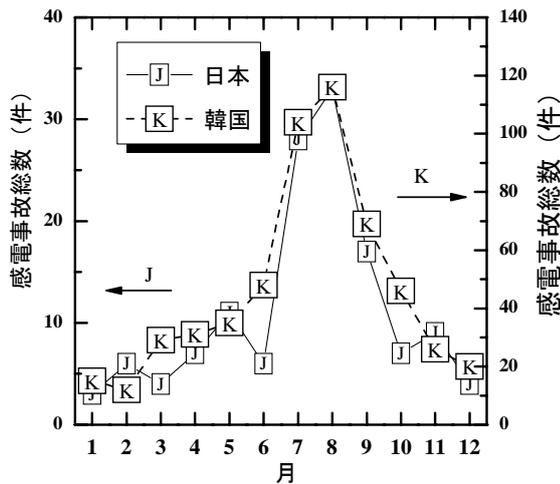


図 11 月別感電事故の推移 (低圧)

制限)により住宅の屋内電路の対地電圧はいくつかの例外を除いて原則 150V 以下に制限されている。電灯線は、単相 3 線式 (100V/200V) であるため、100V 線路および 200V 線路の対地電圧は双方とも 100V となる。また、動力線は主に三相 3 線式 (200V) であり、対地電圧は 200V となり 150V を超える。住宅の屋内電路の対地電圧が 150V を超える場合は、電気機械器具は、屋内配線と直接接続して施設し、電路に漏電遮断器を設置することになっている。なお、IEC 規格では日本のような対地電圧の制限事項はない²⁰⁾。韓国の場合、低圧配電方式に電灯および動力を同時に供給可能な三相 4 線式 (220V/380V) を採用しているため、線路の対地電圧は 220V となる。

感電事故は、線間に比べて充電部と大地間の場合が多い。人体のインピーダンスは、皮膚の湿潤によって低下し、電圧の増加に対して低下する特性があることから、電圧が高い場合には、感電時に人体を流れる電流が大きく、人体が受けるショックは予想以上に増す危険性があり、転倒や転落などの二次災害にもつながり易くなると考えられる²¹⁾。したがって、感電事故の発生は電圧、特に対地電圧に依存すると考えられる。

4 昇圧に伴う安全上の課題と対応

昇圧に伴う安全上の課題は主に次の 2 点である。

- ・過電流、漏電による電気火災の増加
- ・対地電圧上昇による感電事故の増加

これらに対する対応について、以下に検討を加える。

1) 電気火災に対する対応

漏電による火災を防止する対策の一つとして、漏電火災警報器、漏電火災対応の漏電遮断器等による地絡保護がある。漏電火災警報器の場合、漏電の検出、警報の後、原因を除去するために時間を要する。また、これらの安全装置は、プラグやコンセントに使用されるポリ塩化ビニルなどの絶縁材がトラッキング劣化により炭化、グラファイト化²²⁾して起こる線間での短絡に対しては殆ど

対応できないが、某企業で製作したものに对应できるものがあり、この方面の研究開発が求められている。

一方、過電流による火災を防止する対策として、過電流遮断器による過電流保護がある。過電流遮断器は、ヒューズおよび配線用遮断器 (以降、「一般型 MCCB」) である。過電流遮断器の保護範囲は、コンセント受け口までの屋内配線であり、コンセントにつながるプラグコードまでは保護の対象に含まれていない。最近、コンセントに接続されたプラグコードの短絡事故に起因する電気火災の発生を防止するコード短絡保護用瞬時機能付の分岐回路用の配線用遮断器 (以降、「コード短絡保護 MCCB」)²³⁾が開発され、一般に用いられるようになった。

電源コードや延長コードを原因とする電気火災は、平成 9 年度東京消防庁の統計によれば、電気火災全体の 15.1% を占める。コード短絡の背景には、小型大容量の電気製品が普及して延長コードなどの配線用器具に流れる電流が増加したこと、オフィス機器や家具の裏側などに押し込まれる場合が多いこと、床上で使用し、折り曲げや踏まれることで心線やコード被覆が損傷されやすいこと、などが考えられる。このような背景から、コード短絡に至る主な原因は、過電流、熱蓄積 (電線結束)、心線の半断線、機械的外傷 (金属体) である。

短絡が発生すると、式(3)に示す通過エネルギー W_2 が増加し、コードの絶縁被覆は耐熱許容温度を超えて溶融し、短絡点からは火花が発生しアーク放電へ移行して式(4)に示す放電エネルギー W_3 が発生する。

$$W_2 = I_s^2 t \quad (3)$$

(W_2 : 通過エネルギー, I_s : 短絡電流, t : 通電時間)

$$W_3 = \int v i dt \quad (4)$$

(W_3 : 放電エネルギー, v : 瞬時電圧, i : 瞬時電流)

コンセントに接続されたプラグコードの 2~3m 先における完全短絡時の短絡電流 I_s は、2.5) (1) に示した条件の下で計算すると単相 3 線式 100V の場合は約 300A、200V の場合は約 600A と推定される。完全短絡電流値 300A (100V) および 600A (200V) を基準とし、一般型 MCCB とコード短絡保護 MCCB で遮断²³⁾して保護した場合の通過エネルギーを式(3)で算出すると表 1 となる。

表 1 コード短絡時の通過エネルギー

分岐回路用 配線用遮断器	最長遮断時間 [s]		通過エネルギー [A ² s]	
	100V	200V	100V	200V
一般型	0.20	0.06	1.8×10 ⁴	2.2×10 ⁴
コード短絡保護	0.01	0.009	9.0×10 ²	3.2×10 ³

過去の文献において、脱脂綿への着火に必要なエネルギーとして、通過エネルギーは $250A^2s$ 、放電エネルギーは $50J$ と報告されている²⁴⁾。一般型 MCCB の通過エネルギーは、 $100V$ および $200V$ の場合において大きな差はない²⁵⁾。しかし、通過エネルギーは、双方とも $10^4 A^2s$ を超過することから、コードは異常な温度に上昇して絶縁被覆が溶融し、線間の短絡点が拡大する可能性が高い。短絡点からのアーク放電による放電エネルギーは、電源インピーダンスに大きく依存されない特徴があり²⁶⁾、遮断が遅い場合は、アークや銅線が溶融した赤熱粒子が飛散して周辺可燃物へ着火する可能性が高くなる。特に、半断線や炭化経路を介した間欠アーク放電の場合やコードを長くして短絡電流値が低下した場合などは遮断が遅れるため、大きな火花とアークを伴って火災へ進展する可能性がある。

一方、コード短絡保護 MCCB の通過エネルギーは、 $200V$ の場合が $100V$ に対して約 3 倍であるが、約 $10ms$ で高速遮断することから一般型 MCCB に比べて低くなる。また、放電エネルギーも高速遮断や遮断時の限流効果などにより低くなる。したがって、コード短絡保護 MCCB の設置は、昇圧化を進めた場合の短絡を原因とした火災の発生の減少対策として有効と考えられる。

なお、TN 接地方式における地絡事故においては、保護導体 PE、PEN 線の使用および等電位ボンディングにより、地絡電流が短絡電流領域に達するので短絡事故と同様な注意が必要である。

2) 感電に対する対応

図 8 に示したとおり、韓国において感電死亡者の割合は日本と比べて多い。この理由については明確にはないが、低圧における日本での感電死亡者は $100V$ より $200V$ の方が多いことから、電圧の影響と推定される。

このような感電事故を防止する対策として、保護装置の使用や接地がある。特に接地は、欧州のように TN 接地の場合だと対地電圧が昇圧化の影響を直接受けることになり、また、漏電遮断器の使用との関連において検討しておく必要があり、以下に検討を加えた。

(1) 各種接地方式と接触電圧

日韓の主流となる低圧電路の配電方式および電圧値は異なるが、接地については、同じ TT 接地方式を採用している。図 12 に TT、TN 接地における地絡事故例、図 13 に地絡事故例の等価回路を示す。

図 12 の回路方程式は、式(5)で表され、人体にかかる接触電圧 U_t は、式(6)で表される。

$$\left. \begin{aligned} U &= (R_l + R_{fa} + R_{pe} + R_{pen}) \cdot i_1 - R_{pe} \cdot i_2 - R_{pen} \cdot i_4 \\ 0 &= (R_{pe} + R_l + R_{eb}) \cdot i_2 - R_{pe} \cdot i_1 - R_{eb} \cdot i_3 \\ 0 &= (R_a + R_{eb} + R_c) \cdot i_3 - R_{eb} \cdot i_2 - R_a \cdot i_4 \\ 0 &= (R_{pen} + R_a + R_b) \cdot i_4 - R_{pen} \cdot i_1 - R_a \cdot i_3 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$U_t = R_l \cdot i_2 \quad (6)$$

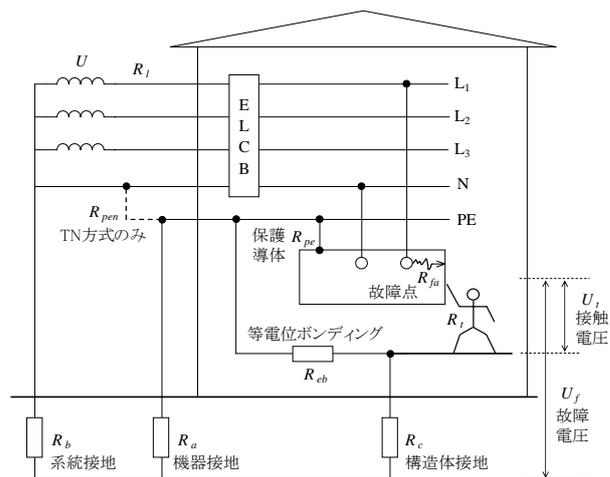


図 12 地絡事故例

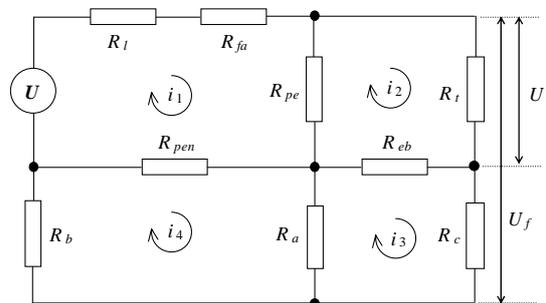


図 13 地絡事故例の等価回路

※算出条件

$$\left. \begin{aligned} R_{pen} &= \infty \text{ (TT 接地のため)} \\ R_{eb} &= \infty \text{ (等電位ボンディング無)} \\ R_t &= \infty \\ R_{fa} &= 0 \\ R_c &= 0 \text{ (最悪条件)} \end{aligned} \right\}$$

表 2 に TT 接地の場合の各抵抗値に対する接触電圧の依存性と安全対策を示す。

TT 接地の場合において、以下の算出条件で地絡事故が発生したとすると接触電圧 U_t は式(7)となる。

$$U_t = \frac{R_{pe} + R_a}{R_l + R_{pe} + R_a + R_b} U \quad (7)$$

ここで $R_l \ll R_a, R_b$ であるので R_l を無視すると式(8)となる。

$$U_t = \frac{R_{pe} + R_a}{R_{pe} + R_a + R_b} U \quad (8)$$

人体抵抗は、電圧に反比例して低下する特性がある。湿った皮膚の状態において、接触電圧が $300V$ の場合、人体抵抗は約 1000Ω ²⁸⁾まで低下する。対地電圧 U を 300

表2 地絡事故に対する安全対策

抵抗	抵抗値		接触電圧		安全対策 接触電圧を低く抑える方法
	安定性	管理	抵抗値小	抵抗値大	
相導体 R_l	電線長に依存	○	大	小	—
故障点 R_{fa}	故障状態に依存	△	大	小	・機器の絶縁強化.
保護導体 R_{pe}	接続点に依存	○	小	大	・接地極付コンセントの使用. ・接続信頼性の向上.
人体 R_t	人体の状態に依存	△	小	大	・絶縁用保護具・防具の使用.
等電位 R_{eb}	接続点に依存	○	小	大	・接続箇所の信頼性の向上
機器接地 R_a	大地抵抗に依存	○	小	大	・機器接地抵抗を低く管理.
系統接地 R_b	大地抵抗に依存	○	大	小	・機能接地抵抗の挿入 ²⁷⁾ .
構造体 R_c	接触位置に依存	○	大	小	・壁, 床, 天井の絶縁管理. ・等電位ボンディング施工.

注：○:管理しやすい, △:管理し難い
抵抗値小, 大:第一列の抵抗の大小を示す

V, 人体抵抗 R_t を 1000Ω , ケッペン (ドイツ) の実験から心室細動に至らない人体通過電流を 30mA 以下²⁹⁾ とすると, 接触電圧 U_t は式(10)で表され, 式(11)の関係が成立する³⁰⁾.

$$U = 300 \tag{9}$$

$$U_t = 0.03 \times 1000 = 30 \tag{10}$$

$$\frac{R_b}{R_{pe} + R_a} \geq 9 \tag{11}$$

系統接地抵抗 R_b の最大値は, 150 を高圧側一線地絡電流値で除した値であり, 一例として一線地絡電流値が 10A であったとすると式(12)で表される.

$$R_b = \frac{150}{10} = 15 \tag{12}$$

この場合の保護導体抵抗 R_{pe} と機器接地抵抗 R_a の合計値は, 式(13)となり, 現実には実現し難い値となる. したがって, 安全性を確保するため漏電遮断器が必要になる.

$$R_{pe} + R_a \leq \frac{5}{3} \tag{13}$$

なお, 漏電遮断器を使用しても抵抗 R_a に関わる機器接地を有効に施していない場合は, 人が漏電箇所接触到してはじめて漏電遮断器が作動することになる. この場合, 漏電遮断器は感電災害防止を可能とする動作時間の範囲内ではあるが, 人体を通過する電流値が高い場合があるため, 機器接地抵抗 R_a は極力低く保つ必要がある.

TT 接地方式は基本的に等電位ボンディングが不要であるが, IEC 規格ではその必要性を規定している³¹⁾. $R_{eb} = 0$ として等電位ボンディングを施すと, 式(8)の接触電圧 U_t は式(14)で表され, さらに式(9), (10)の条件とすると式(15)の関係が成立する. 接触電圧を低くおさえるためには, 保護導体および等電位ボンディングの接続箇所の信頼性を確保して抵抗値を低く保てば良いことがわかる.

$$U_t = \frac{R_{pe}}{R_{pe} + R_b} U \tag{14}$$

$$\frac{R_a + R_b}{R_{pe}} \geq 9 \tag{15}$$

TN 接地の場合, 等電位ボンディングが義務づけられているため $R_{eb} = 0$, また $R_c = 0$ (最悪条件) とすると, 式(7)の接触電圧 U_t は式(16)となる.

$$U_t = \frac{R_{pe}}{R_l + R_{pe} + R_{pen}} U \tag{16}$$

TN 接地で等電位ボンディングを施さなかった場合は, $R_b = R_c = 0$ の最悪条件においては, R_{pe} と R_{pen} にかかる電圧の合計が U_t となる. U_t は式(17)のように表され, 変圧器二次側線路長が同一であることから $R_l = R_{pen}$, また $R_{pe} = 0$ とすると, 式(18)のように接触電圧は対地電圧の $1/2$ となる. したがって, TN 接地の場合, 等電位ボンディングが必須である.

$$U_t = \frac{R_{pe} + R_{pen}}{R_l + R_{pe} + R_{pen}} U \tag{17}$$

$$U_t = \frac{1}{2} U \tag{18}$$

TT 接地方式の場合、接触電圧は主に R_a と R_b のバランスで大きく変動し、対地電圧の 1/2 以下に低減することが難しい。したがって、対地電圧が 200V を超える場合は、人体の接触電圧は許容接触電圧（交流）である 50V を超える可能性が高く危険である。なお 50V は、心室細動電流の生理学的データ及び災害の経験に基づいて国際的な統一見解として合意されたものであり、例えば JIS C 0364-4-413.1.1.1 に記載されている。

TN 接地方式の場合は、保護導体および等電位ボンディングの接続信頼性を確保して抵抗値を低く保てば、対地電圧が高い場合でも接触電圧は式(16)で表されるように非常に低くなり安全である。TN 接地方式の固有の問題点として PEN 導体の断線がある。TN-C および TN-CS 方式の場合、N 線（中性線）と PE 線は共用および需要家引き込み口で接続されている。PEN 線が断線すると、N 線の電位上昇とともに保護導体および機器筐体の電位も電源の対地電圧まで上昇する。この電位上昇による感電を防止するために等電位ボンディングを施す必要があり、TN 接地であっても機器接地を施すことが望ましい。

(2) 安全対策

日本の場合は、主に単相 3 線式で 100/200V における対地電圧は 100V であり、住宅用分電盤の主幹には漏電遮断器が設置されているので感電保護における安全性は同じである。ただし、日本における家電機器はクラス 0 機器およびクラス 0 I 機器が主流でありこれらは接地線、接地端子を有さない。2005 年に内線規程が改訂され、接地極付コンセントが洗濯機、冷蔵庫、電子レンジなど 9 種類の電気製品については義務づけられ、水まわりのコンセントについては勧告され、住宅に施設するコンセントすべてについては推奨された。感電保護には、式(8)、式(16)からわかるように保護導体の接続が重要である。今後、接地極付コンセントと同様に接地極付電源プラグの普及も期待される。

韓国においては、対地電圧が 220V と高いことから接地方式を TT から TN 接地方式へ移行する計画である³²⁾。現在は、TT 接地方式で対地電圧が高いため、タイトランスを設け二次側巻線中性点を接地して対地電圧を半減させる方法も採用されている³³⁾。TN 接地方式は、TN-S および TN-CS 方式として、漏電遮断器も併用することが望ましい。また、屋外では等電位ボンディングができないため、二重絶縁器具や漏電遮断器を使用すべきである。接地方式の移行過渡期には同一系統内に TT と TN 接地方式が混在することになり影響が懸念されるが、TN 接地の普及により同一系統内における TT 接地の接地性能が向上するとの研究報告もあり³⁴⁾、今後も接地に関しては、感電保護だけでなく雷保護、ノイズ保護なども含めて慎重に検討していかなければならない。

また TN 接地方式では地絡を短絡として検出するために短絡電流による電気設備へのダメージが大きいことから、地絡は地絡として検出することが望ましいと考えられる。

5 まとめ

電気火災および感電事故について、低圧の使用電圧として 100V が主流である日本と、昇圧化が完了して 220V が主流となった韓国との比較・分析を行い、使用電圧を昇圧した場合の電気安全について留意点を抽出した。主な内容は以下の通りである。

- a) 昇圧の進展と電気火災発生数には相関性が見られる。その主な原因である短絡による電気火災について、発生過程の究明と防止対策が電気火災防止にとって重要になる。
- b) 昇圧化後、老朽設備を継続して使用すると、電気火災が発生し易くなるので特に注意が必要である。
- c) 昇圧の進展と感電死傷者数には相関性が見られない。これは有効な接地方式の選定、漏電遮断器の普及が感電事故の抑制に影響したためと考えられる。

昇圧による電気事故を防止するためには、配電方式や対地電圧に応じた有効な接地方式の選定や接地技術の開発、電気設備、漏電遮断器の安全性能強化などのハード面の安全対策に加え、電気安全関連法令の遵守、定期点検の励行、メンテナンスの推進、老朽設備の適切な更新などのソフト面の安全管理体制の確立や作業者の教育の充実も重要である。

謝 辞

本研究は厚生労働省の厚生労働科学研究費補助金により実施したものであり、関係各位に謝意を表します。また、韓国のソウル産業大学校 鄭載喜教授および忠北大学校 金斗鉉教授には、まとめるにあたってご助言を頂いたことに感謝します。

文 献

- 1) 日本電機工業会. 配電電圧昇圧と電線地中化推進のための提言. 2001.
- 2) 日本防火研究普及協会. 火災年報 1983 年~2003 年版.
- 3) 韓国電気安全公社. 電気災害統計分析 (韓国) 1983 年~1992 年, 1995 年~2003 年度版.
- 4) 萩本安昭, 渡邊憲道, 木下勝博. 電気配線器具類の火災危険性. 電気学会生産設備管理研究会資料. 1993 ; PFC-93(7-14) : 21-29.
- 5) 東京消防庁. 最近の電気設備火災の発生状況について. 火災. 2002 ; 52(6) : 21-27.
- 6) 中野弘伸. 電気配線からの発火原因に関する考察. 火災. 1996 ; 46(2) : 1.
- 7) 統計庁 (韓国). 火災統計資料 2004 年度版.
- 8) 広瀬淳雄. 統一に向かう世界の低圧配電電圧. 電気評論. 1989 : 70.
- 9) 東京消防庁. 最近の電気火災と防止対策. OHM. 2002 ; 12 : 68-69.
- 10) 吉宮弘志. 建物電気設備の安全管理と火災事例. 火災. 2002 ; 52(6) : 9.

- 11) 相馬重信, 藤村光雄, 藤村茂. ビニルコード, Fケーブルの短絡による配線用遮断器の動作について. 火災. 1982; **32(1)**: 17.
- 12) テンパール工業. テンパール総合カタログ. 2005.
- 13) 早川進, 渡辺憲道. 電気火災原因と保護ブレーカの働き. 火災. 1996; **46(2)**: 20.
- 14) 電気設備学会. 電源コード等の防火対策調査研究報告. 電気設備学会誌. 1997; **17(3)**: 60.
- 15) 原子力安全・保安院電力安全課. 電気保安統計 1984年~2002年度版.
- 16) 電気保安協会全国連絡会議資料, 平成15年, 電気保安協会全国連絡会議.
- 17) 高橋健彦, 李炯秀. 韓国における配電電圧 220V への昇圧について. 電気設備学会誌. 1995; **3**: 96.
- 18) 産業資源部 (韓国). 人体感電用漏電遮断器の設置基準改善に関する研究. 2002.
- 19) 中央労働災害防止協会. 安全衛生年鑑 1999年~2002年度版.
- 20) 富重豊. 過電流保護. 電気設備学会誌. 2002; **22(12)**: 18.
- 21) 小田原茂雄. 現場における電気設備の施工・安全管理. 火災. 2002; **52(6)**: 28.
- 22) 金原壽郎. 加熱によるコード被覆の絶縁劣化. 火災. 1978; **28(6)**: 10-15.
- 23) 日本電機工業会. コード短絡保護用瞬時機能付配線用遮断器. 2000.
- 24) 渡邊憲道, 岡本勝弘, 萩本安昭, 木下勝博. 電気配線短絡による可燃物の着火エネルギー最小値. 日本火災学会研究発表会概要集. 1999: 5.
- 25) 藤井之寛. 住宅負荷の大容量化に対応する最適配線方式に関する調査研究. 電気設備学会誌. 1999; **19(8)**: 2-3.
- 26) 木下勝博, 萩本安昭, 石井義雄. 電気配線における線間放電現象と火災危険性(1)放電の発生原因と発火過程. 日本火災学会研究発表会概要集. 1991: 211.
- 27) 高橋健彦. 接地システム入門. オーム社; 2003: 54.
- 28) 高橋健彦, 川瀬太郎. 接地技術入門. オーム社; 1986: 21.
- 29) IEC/TS 60479-1 Ed. 4.0:2005 (b). Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects. 2005.
- 30) 高橋健彦. 接地・等電位ボンディング設計の実務知識. オーム社; 2003: 13-14, 154.
- 31) 日本電機工業会. 漏電遮断器適用指針 JEM-TR142. 2001: 1.
- 32) 韓国建築電気設備昇圧実態調査報告. 電気設備学会調査報告. 2000: 201.
- 33) 韓国屋内配線実態調査報告書. 電気設備学会誌. 1991; **4**: 62.
- 34) 青山洋一, 山本拓也, 横山洋一. TN, TT 接地システムの接地性能比較. 松下電工技報. 2001; **Feb.**: 72-74.

Comparison of Electrical Accidents during the Process of Promotion of Low-voltage Power Distribution in Korea and in Japan

by

Hajime TOMITA*¹, Kwang-Seok CHOI*¹, Kenji NAKATA*² and Tatsuo MOTOYAMA*³

In Japan, the present low-voltage power distribution is mainly 100/200V. In the near future, 230/400V will be introduced to save energy and prevent any contribution to the greenhouse effect. However, the promotion of low-voltage power distribution could lead to an increase in the number of accidents, such as those that occur as the result of electric fires and electric shock. In Korea, the successful promotion of 220V power distribution has been completed after a period of approximately 30 years. This paper is a comparative study of electrical accidents occurring in Japan and Korea from the viewpoint of safety engineering. The results of our comparative study indicate that (1) the increase in electric fires is relative to the promotion of power distribution and (2) electric shock is independent of the promotion of low-voltage power distribution because of the use of electric leakage circuit breakers (ELCBs).

Key Words: promotion of low-voltage power distribution, electric fire, electrification accident, Japan, Korea.

*1 Electrical Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

*2 Tempearl Industrial Co., Ltd.

*3 National Institute of Occupational Safety and Health, Japan