

# Speech Intelligibility and Fire Alarm Systems Results and Discussion from Commercial Venues

John P. Woycheese

Department of Fire Protection Engineering, Worcester Polytechnic Institute, MA

## 序言

透過緊急語音通訊系統播放訊息可以幫助住戶在不同事件發生時，決定須採取的應對措施，如：火災、暴風雨或恐怖攻擊。因此，讓人們理解訊息內容是很重要的。訊息本身、說話者、聽者、發送訊息的系統與房間的語音特性都可能影響語音的理解程度。在事件發生期間，適時的發送即時訊息。火災防護工程師確保訊息品質或內容的能力是有限的。某些認可的系統專注在量化，不注意緊急語音通訊系統是否可以透過適合的頻率範圍忠實的複製訊號，並且了解何種建築結構或系統設計會降低訊息的清晰度。許多研究[1-6]透過專注在某些空間評估額外或可替換的揚聲器區域、地板與屋頂、背景噪音、家具與住戶人數之影響。樓梯間各別評估可以說明在某些空間改善訊息理解度的困難。此報告會證明某些研究結果。

## 背景

測量 EVCS 的清晰度有主觀與客觀兩種方法。前者為參與者變換計畫，訓練人們聽廣播訊息並記下聽到的字或句子，廣播的字或句子限制為表單裡的。後者，客觀測試，以設備取代說話者與聽者。某項元件透過 EVCS 發送特殊的多頻測試信號，同時使用計量器在不同位置測量信號長度與相對的品質。[11]這些計量器使用語音傳送指標(STI)的變化評估 EVCS 與建築物改變帶來的影響。STI 測量 98 個調頻噪音組合，使用 14 組調頻與 7 個八度頻段，提供單一數字表示區域的脈衝響應與信噪比、噪音程度、回響、回音、非線性失真以及系統和環境的通頻帶限制。[13、14]在手持式計量器使用兩組調頻降低設定與六個八度頻段 (STI-PA)並產生與 $\pm 0.03$  STI 分析不同的測試結果。[12]不同的測試結果可以和 Common Intelligibility Scale(CIS)做比較。[13]

CIS 0.7 或 0.70 為緊急系統語音清晰度的分界點。與理解大約 80% 字以及 95% 句子的程度相似。相等或更高的 CIS 值表示人們在房間中可以聽到並理解 EVCS 發送的訊息。較低的 CIS 值表示人們聽不清楚訊息或沒辦法理解足夠的訊息文字。對有聽覺障礙的人或位置使用非常複雜的訊息需要較高的 CIS 數值。

計量器每次測量約需 15 秒的時間。目前建議[11]每 37 m<sup>2</sup>最少一組測量位置，每個位置測試兩次。如果兩組 CIS 數值差異超過 0.03，必須再做一次測試並記錄兩組最相近測試值的平均數。麥克風分析器應該離使用者最少 0.6m，離地約 1.5m。

## 測試環境

四種測試環境的研究結果如下。

### 餐廳

餐廳是第一個選擇的區域，由一個大房間與南、北邊的凹室組成。主要的用餐區域大約 27m\*13.5m。餐廳兩邊的凹室大約 4.8m\*9.7m，並由 6.1m 長的木頭與塑膠隔板從地板到天花板隔開。有坐墊的木頭長椅放在凹室那面的分隔板。其它地方有更完整的環境說明。[1]

主用餐區安裝四台揚聲器，兩台安裝在靠近通道的獨立牆面上，另外兩台安裝在玻璃門附近。第二次測試時，在南邊的凹室裡安裝暫時性的崁頂揚聲器作評測試。徹底測試空間的清晰度，凹室有六個位置，餐廳有 15 個位置。每 37 m<sup>2</sup> 一個區域，每個區域建議測試三次。兩組測試結果如圖 1。

系統安裝後，餐廳與凹室的訊息清晰度分別約為  $0.75 \pm 0.02$  與  $0.67 \pm 0.02$  CIS。[3]如果將兩個空間視為單一空間，所有測量位置結合的清晰度為  $0.73 \pm 0.04$ 。如果將測量位置數降低到建議的測試密度，此數值變成最低限度( $0.72 \pm 0.04$ )。[1]四台揚聲器每台標準測量空間為 1m，最高清晰度為 0.81 CSI。在凹室裡安裝一台揚聲器改善清晰度至  $0.74 \pm 0.03$ (請參閱圖 1b)。

### 開放式設計辦公室

第二順位的空間是辦公大樓：開放式樓層設計的辦公空間。樓層中央有機房區，包含樓梯間、洗手間、電梯、機械室、辦公室與會議室，由大型未隔間的區域圍繞。測量一個開放空間的清晰度，此部分由兩個長方形組成：一個長 25m、寬 13m，另一個長 16.4m、寬 10.9m。柱子 7.6m 在中間，距離機房室外牆約 2.1m。天花板離地約 2.7m。在其他地方有更完整的環境說明。[1]

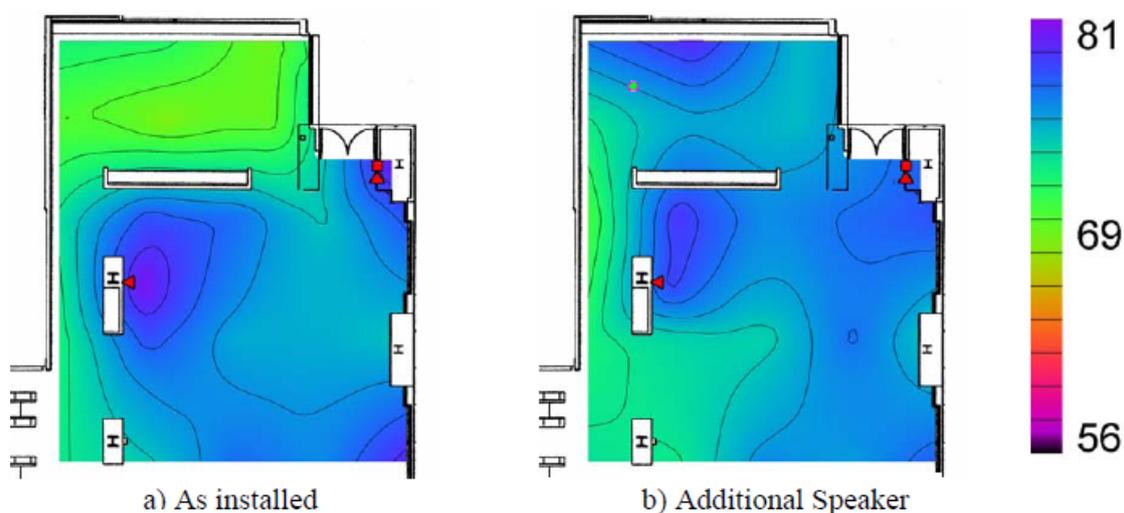


圖 1: 圖 a)顯示機器安裝後的結果，圖 b)描述額外增加揚聲器產生的影響。

此餐廳區域包含凹室(上方綠色區域)與主用餐區。圖中只有顯示一半的區域。

原始的語音通訊系統有四台揚聲器/strobe(選通脈衝)設備安裝在南邊牆上，離地約 2.1m。另外四台揚聲器安裝在天花板上和壁掛揚聲器對齊，距離南邊牆面約 5.4m。語音清晰度測量最長方向 1.5m。三排測試離辦公室牆面分別約 5.2m、7m 與 11.2m。

現存的 EVCS 使用壁掛與崁頂 2 種揚聲器測試清晰度，結果顯示如圖 2。在兩種方法中使用相同的電源分接頭(power tap)與信號長度，揚聲器使用同一家製造商與系列。使用壁掛揚聲器方式的房間之平均 CIS 值為  $0.75 \pm 0.03$  [4]；雖然大部份空間測量出的清晰度超過 0.70，但在房間中央有兩個較差的位置，最低平均 CIS 值 0.67。使用崁頂揚聲器替代可以改善平均清晰度至  $0.83 \pm 0.03$ ，某些位置記錄的平均測量值高達 0.88CIS，並且沒有清晰度較差的區域。

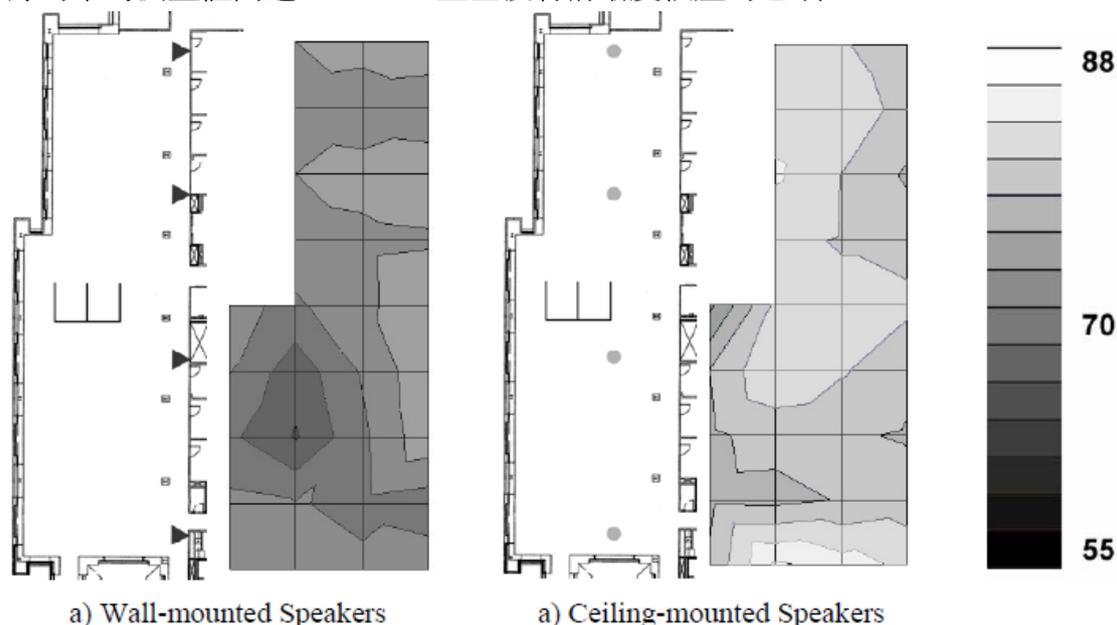


圖 2: 開放式樓層設計辦公室的清晰度測量。a)和 b)提供辦公空間的設計(左邊),包含揚聲器位置(長方形、圓形)以及壁掛和崁頂揚聲器各別 CIS 測量之等高線圖(右邊)，圖片說明更換揚聲器位置可以改善清晰度。

## 大型會議室/教室

選擇教室是因為可以評估不同數量對語音清晰度的影響。教室大約長 18m 寬 7.1m 高 2.9m。在 99 次實驗中研究八種不同的變化—揚聲器數量及位置、揚聲器電源分接頭(power tap)、音壓程度(SPL)、人員數量及位置、家具、測量位置、資料收集方法與地毯。只有少數幾項結果會在此報告中說明。

在第 31 次實驗中，地面鋪地毯並使用 78dBA 的音壓程度(SPL)。其餘的測試使用 61dBA：第 37 次實驗使用地毯，第 31 次在地毯上使用 1/8 吋的平面磚板。所有測試在高 SPL 下有超過 0.70 的清晰度(平均房間 CIS 測量值減去標準誤差)。在低 SPL 下，大約有 46%的地毯與 58%的磚板實驗出現低於 0.70 值。因為其他變化的限制，當揚聲器指定 1/8、1/4 或 1/2 瓦時，用地毯實驗的數值比用磚板的數值高。指定 1 瓦，結果會混合；指定 2 瓦，結果會相同。房間的語音清晰度會

稍微增加或與有家具的實驗相同，家具包含有防熱塑膠薄板的金屬邊桌子、金屬邊的辦公椅與椅墊。請參考文獻[5]，有每種變化的完整討論結果。

其中一項測試的決定因素是人員的影響—人數與位置。少數實驗在未使用的辦公室進行，重複用 10 到 22 位人員在房間裡聚集或分散到各個位置。大致上來說差異很小，人員較集中的房間通常比分散人員或無人房間的 CIS 測量值低。圖三是與無人房間做比較。22 個人圍著桌子坐，靠近房間中央並使用覆蓋地毯的磚板。四組揚聲器安裝在房間的四個角落並指定為 1/8 瓦。雖然測量設備更接近揚聲器，但靠近人員的平均測量值明顯較其他未使用的房間低，最多 0.14CIS。

16 組揚聲器—12 組嵌頂，另外兩組掛在前後牆上。個別控制揚聲器數量、位置與電壓在清晰度測量時產生的影響。圖 4 顯示不同揚聲器數量、電源分接頭 (power tap) 的平均 CIS 測量值。在房間前、後安裝嵌頂喇叭，直接在揚聲器間產生最小測量值。(從每個資料點顯示兩個位置的平均值) 從 1/8 瓦增加到 1/2 瓦，語音清晰度從  $0.69 \pm 0.04$  上升至  $0.72 \pm 0.03$ 。標準誤差以全部 48 種測試為基礎。將 2、1/2 瓦改為 8、1/2 瓦揚聲器以降低標準誤差 ( $0.72 \pm 0.02$ )。此外，曲線較平緩且各別測量值沒有低於 0.70 CIS。

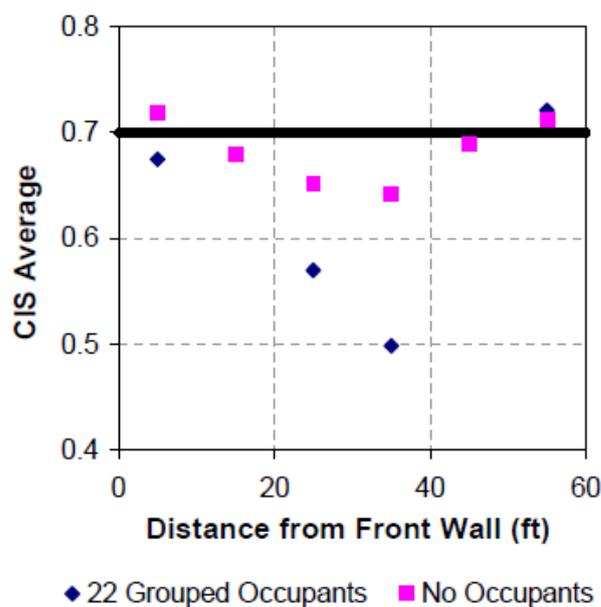


圖 3: 在有人/無人的教室內進行測試。人坐在靠近中間的位置，房間四個角落的揚聲器發出聲音。測量的距離不會採用離前方牆壁 4.5m 或 13.6m。

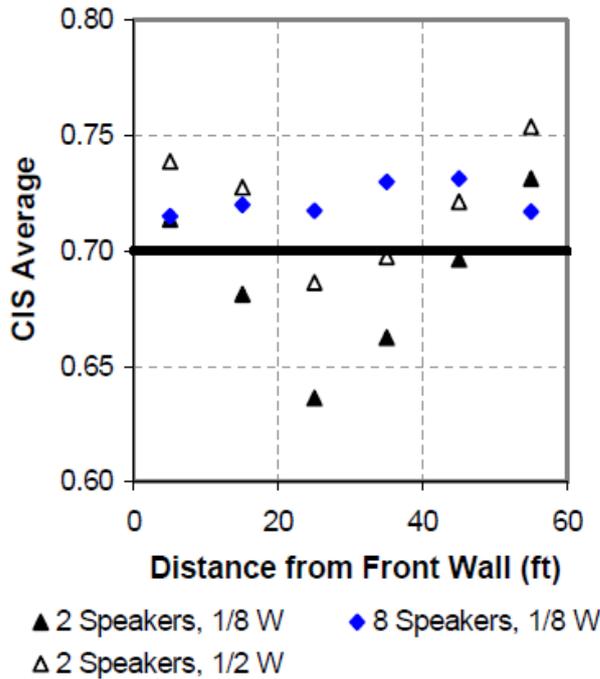


圖 4: 在教室內進行測試，使用不同數量的揚聲器發出聲音，顯示測量位置與供應電源對清晰度的影響。

## 樓梯間

在四層逃生梯間使用不同系列的測試，評估揚聲器數量與功率的影響以及清晰度的音壓程度(SPL)。初步測試時，逃生梯間無人使用。揚聲器安裝在每個樓梯平台上。只有安裝在地下層平台上的揚聲器發出聲音並指定為 1 瓦。圖 5 顯示地下層測量的位置。位置的數量較其它情況少一半。

每次實驗所有區域的前五次測量平均值顯示於表 1。由此可知，測試因素的差異不會使平均測量值超過 0.65。各種變化不會產生明顯的改變，包括：改變電源分接頭(power tap)、訊息播放的音壓程度(SPL)、平台上的揚聲器。地下層的各別測量值由 0.43 變成 0.80 CIS，平均測量值 0.52 到 0.76。類似的結果在裝有 EVCS 的樓梯間出現。

在地下層的五個位置測試 100 次決定測量的差異。測量的數據如表 2。位置 1-5 為圖 5 灰色圓圈部份由上往下編號。這些位置的變化(0.47 到 0.73)較所有空間的測量變化小(0.43 到 0.80 如前文所提)。每個位置的平均與中間測量值相當接近，其分布區域類似於高斯分佈。

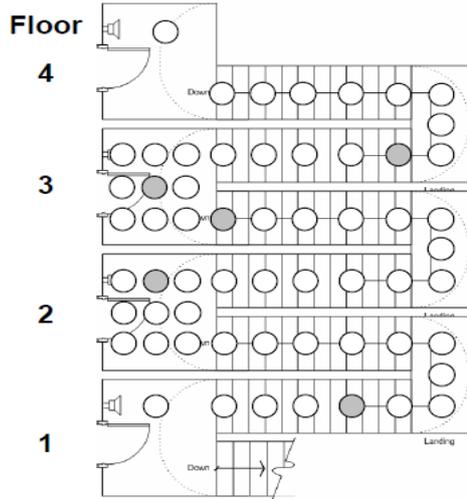


圖 5: 在樓梯間多個位置測試清晰度(圓形部份)。在大部分位置使用 5-10 個句子, 在灰色圓形部份測試 100 次。預留右邊平台使用。

Table 1: Library Stairwell Data

Case	Avg	$\sigma$	Avg- $\sigma$
Base	0.65	0.04	0.61
¼ W	0.65	0.04	0.61
½ W	0.65	0.04	0.61
2 W	0.63	0.04	0.59
85 dBA	0.64	0.04	0.60
76 dBA	0.63	0.04	0.59
All Landings (1 W)	0.63	0.03	0.60
All Landings (½ W)	0.63	0.04	0.58

Table 2: 100-measurement Stairwell Data

	Location				
	1	2	3	4	5
Max	0.73	0.69	0.70	0.69	0.71
Min	0.58	0.61	0.47	0.61	0.59
Avg	0.66	0.65	0.63	0.65	0.63
Median	0.65	0.65	0.64	0.65	0.63
$\sigma$	0.024	0.015	0.038	0.016	0.019
Avg- $\sigma$	0.64	0.63	0.59	0.63	0.61

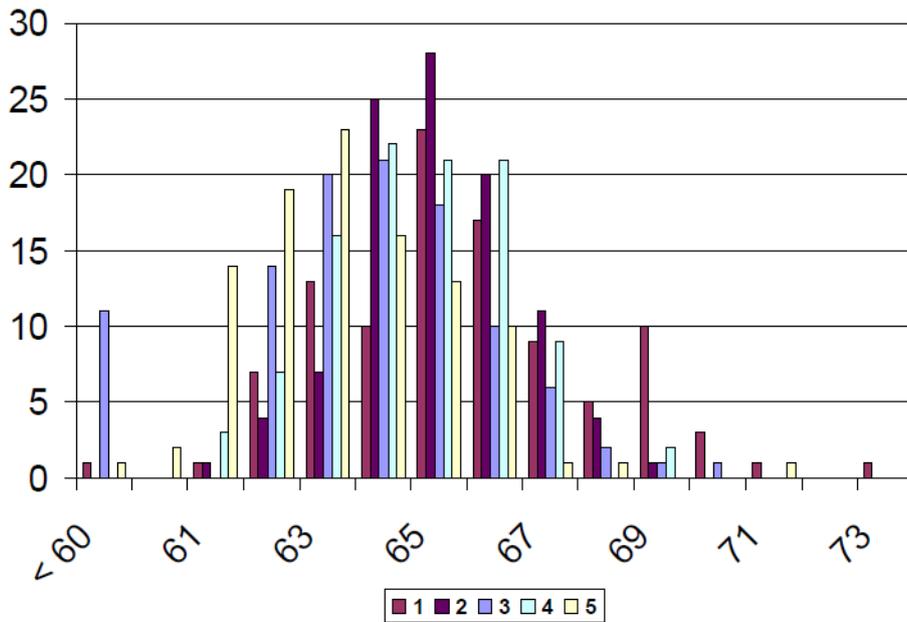


圖 6: 樓梯間測試的長條圖。橫座標為 CIS 測量值, 縱座標為範圍內之測量值。

## 結論

語音清晰度測量評估訊息透過緊急語音通訊系統(EVCS)發送的清晰度與理解度。此份報告發現不同的系統設計、環境條件(如：家具)以及測量技術可能會影響空間清晰度的特性。測試四種環境：餐廳、大型辦公室、教室與樓梯間。

揚聲器數量與位置的影響是所有空間的測試主題(除了樓梯間以外)。將揚聲器從牆壁移動到天花板較中間位置，可降低誤差並增加辦公室的語音清晰度。上述提及類似的改善方式是在用餐區的凹室增加一個獨立的揚聲器。關於教室，在指定的電源分接頭(power tap)增加揚聲器數量可以改善整個房間平均與分配的清晰度。平均的清晰度與 2 組及 8 組揚聲器有 1/2 和 1/8 瓦 taps 相似。當功率從 1/8 瓦變成 1/2 瓦/揚聲器時，儘管數值可能會增加，分配圖仍然不會改變。

雖然多數區域有一致的結果，但在許多情況下，所有房間的語音清晰度有人數負載的最低影響。在房間內集中人員會降低語音的清晰度，也可能會影響火災防護測試目的的清晰度測量時間。某些評估方式預先使用人員佔有方法可能會產生錯誤的結果。

最後，兩種分開的梯間測試不能決定適合的系統設計。提供 International Fire Code 可能會有問題，至少在高樓裡樓梯間是廣播區域的一部份。[16]如果考量到樓梯間還有人員負載的話可能會變的更複雜。樓梯間區域需要更深入的研究。

## 參考文獻

1. Woycheese, J.P., "Speech Intelligibility Measurements in an Office Building," *Journal of Fire Protection Engineering*, (in press).
2. Kahan, J., Liang, B.-W., Peralta, F., Phelan, P., Sulewski, A., and Thompson, B., *FP555 Detection, Alarm, and Smoke Control Final Project Report: Stairwell*, Worcester Polytechnic Institute, 38 p., 2003.
3. Batbouta, M., Birmingham, J., Bou Farah, C., Flaherty, D., Grakowski, M., and Szwarc, D., *FP555 Detection, Alarm, and Smoke Control Final Project Report: Cafeteria*, Worcester Polytechnic Institute, 38 p., 2003.
4. Blackburn, M., Choi, Y., Contois, D., Shanahan, G., Sher, E., and Woods, L., *FP555 Detection, Alarm, and Smoke Control Final Project Report: Office*, Worcester Polytechnic Institute, 35 p., 2003.
5. Geoffroy, N., "Measuring Speech Intelligibility in Voice Alarm Communication Systems," *M.S. Thesis*, Worcester Polytechnic Institute, 203 p., 2005.
6. Vaughn, J., "Speech Intelligibility in Stairwells for Emergency Voice Communication Systems," *Independent Study Report*, Worcester Polytechnic Institute, 48 p., 2006.
7. Accredited Standards Committee S3 (Bioacoustics), "Method for Measuring the Intelligibility of Speech Over Communications Systems," *ANSI S3.2*, Acoustical

- Society of America, 31 p., 1995.
8. International Organization for Standardization, "Acoustics—The Construction and Calibration of Speech Intelligibility Tests," *ISO TR 4870*, Switzerland, 26 p., 1991.
  9. International Electrotechnical Commission, "Sound System for Emergency Purposes," *IEC 60849*, 2<sup>nd</sup> ed., 43 p., 1998.
  10. International Electrotechnical Commission, "Sound System Equipment-Part 16: Objective Rating Of Speech Intelligibility By Speech Transmission Index," *IEC-60268-16*, 3<sup>rd</sup> ed., 34 p., 2003.
  11. SimplexGrinnell, "STI-CIS System User's Guide," *579-277 Rev. A*, Westminster, MA, 28 p., 2002.
  12. Jacob, K., McManus, S., Verhave, J.A., and Steeneken, H., "Development of an Accurate, Handheld, Simple-to-use Meter for the Prediction of Speech Intelligibility," *Past, Present, and Future of the speech Transmission Index*, International Symposium on STI, The Netherlands, October 22-24, pp. 89-96, 2002.
  13. Steenelen, H.J.M., "The Measurement of Speech Intelligibility," *Proceedings IoA 2001*, 23:8, Stratford-upon-Avon, UK, 2001.
  14. Steeneken, H., and Houtgast, T., "Basic of the STI Measuring Method," *Past, Present, and Future of the Speech Transmission Index*, International Symposium on STI, The Netherlands, October 22-24, pp. 13-44, 2002.
  15. National Fire Protection Association, *NFPA 72: National Fire Alarm Code*, 2007 ed., 235 p., 2007.
  16. International Code Council, *International Fire Code*, 2006 ed., 449 p., 2006.