

# IPv6 Tunnel Broker: ระบบอำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อ เครือข่าย IPv6 สำหรับผู้ใช้ตามบ้าน

พนิตา พงษ์ไพบูลย์

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

panita@nectec.or.th

ฉัตรชัย จันทน์อินทร์

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

chatchai@nectec.or.th

## บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอระบบอำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อ IPv6 สำหรับเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต IPv6 ให้กับผู้ใช้ตามบ้านที่ผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตยังไม่เปิดให้บริการ IPv6 ระบบ IPv6 Tunnel Broker จะช่วยสร้างท่ออัตโนมัติเพื่อเชื่อมต่อไปยังเครือข่าย IPv6 และแจกจ่ายเลขหมาย IPv6 address ให้กับผู้ใช้ โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ในการตั้งค่าใดๆ ระบบนี้รองรับระบบปฏิบัติการ Windows XP และ Linux และใช้ได้กับทั้ง public และ private IPv4 address

## Abstract

This article proposes a semi-automatic IPv6 tunnel configuration system with a goal to connect end users to IPv6 networks in a simple, convenient manner. Such system, called "IPv6 Tunnel Broker", will automatically allocate and configure public IPv6 addresses to end users' computers regardless of whether a user has a public or private IPv4 address.

## คำสำคัญ

IPv6, Next Generation Internet, Tunnel Broker, Teredo

## 1. บทนำ ที่มาและแรงจูงใจของปัญหา

กลไกสำคัญในการทำงานของอินเทอร์เน็ตคืออินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol) ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญคือเลขหมายที่ใช้ในการอ้างอิงเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เครือข่ายต่างๆ บนอินเทอร์เน็ตทั่วโลก หมายเลขของโพรโทคอลดังกล่าว (ซึ่งในปัจจุบันคือรุ่นที่ 4, IPv4) กำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้และจะส่งผลกระทบต่อการขยายตัวของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต คณะทำงาน IETF ได้ตระหนักถึงปัญหาคriticalดังกล่าวและได้พัฒนาอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลรุ่นใหม่ขึ้นคือรุ่นที่หก (Internet Protocol version 6; IPv6) โดยมีการปรับปรุงโครงสร้างของตัวโพรโทคอลในส่วนของจำนวน

หมายเลขที่มากยิ่งขึ้นและยังมีการปรับปรุงคุณลักษณะอื่นๆ อีกหลายประการทั้งในแง่ของประสิทธิภาพและความปลอดภัยของตัวโพรโทคอลเพื่อให้สามารถตอบสนองการขยายตัวและความต้องการใช้งานเทคโนโลยีบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในอนาคตได้เป็นอย่างดี

การปรับเปลี่ยนเครือข่ายจาก IPv4 เป็น IPv6 ทำได้หลายวิธี อาทิเช่น การสร้างอุโมงค์ (IPv6-in-IPv4 tunnel) เพื่อให้ข้อมูลในรูปแบบของ IPv6 สามารถส่งออกไปบนเครือข่าย IPv4 ได้ หรือการแปลงข้อมูล (translation) โดยใช้อุปกรณ์เซิร์ฟเวอร์แปลงแพ็กเก็ต IPv6 ให้อยู่ในรูปแพ็กเก็ต IPv4 อย่างไรก็ตามเทคนิคการปรับเปลี่ยนเหล่านี้มีความซับซ้อน ผู้ใช้ต้องมีความรู้ความเข้าใจเรื่องการตั้งค่าที่อุปกรณ์เครือข่ายของตนในบางกรณีต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริม และบางครั้งจำเป็นต้องใช้ public IPv4 address ในการเชื่อมต่อ ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้ทำให้การใช้งาน IPv6 ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาความสะดวกในการเชื่อมต่อเครือข่าย IPv6 สำหรับผู้ใช้ทั่วไปตามบ้าน โดยใช้เทคนิคการเชื่อมต่อแบบอุโมงค์ IPv6-in-IPv4 tunnel ระบบที่พัฒนาขึ้นทำหน้าที่เป็นตัวกลาง (broker) ช่วยเชื่อมต่อผู้ใช้เข้ากับ IPv6 Internet โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องรู้ชุดคำสั่ง IPv6 ผู้ใช้เพียงแคดาวนโหลดและติดตั้งสคริปต์ในคอมพิวเตอร์ของตนเอง สคริปต์จะตั้งค่าการเชื่อมต่ออุโมงค์และเลขหมาย IPv6 address ให้แก่ผู้ใช้โดยอัตโนมัติ ผู้ใช้ไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์เสริมและไม่จำเป็นต้องมี public IPv4 address ระบบ IPv6 Tunnel Broker นี้เหมาะสำหรับผู้ใช้ทั่วไปที่ต้องการใช้งาน IPv6 แต่ผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตยังไม่เปิดให้บริการ ระบบ

นี้ผ่านการทดสอบภาคสนามตั้งแต่ปี 2550-2551 และพบว่าสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์

## 2. งานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 วิธีการปรับเปลี่ยนเครือข่ายแบบอุโมงค์

Tunnel หรือการทำอุโมงค์เป็นการ encapsulate แพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการส่งไว้ในอีกแพ็กเก็ตหนึ่ง เนื่องจากแพ็กเก็ตที่อยู่ภายในไม่สามารถถูกส่งไปยังปลายทางได้ จึงต้องอาศัยการห่อหุ้มด้วยแพ็กเก็ตอื่น การทำอุโมงค์เพื่อใช้งาน IPv6 นั้นใช้เมื่อเครือข่ายเชื่อมต่ออยู่ด้วยไม่สนับสนุน IPv6 จึงจำเป็นต้องห่อหุ้มแพ็กเก็ต IPv6 ไว้ภายในแพ็กเก็ต IPv4 อีกที เมื่อแพ็กเก็ตมาถึงปลายทางของอุโมงค์ เครือข่ายปลายทางจะตรวจสอบ IPv4 header ซึ่งจะทราบว่าภายในเป็นแพ็กเก็ต IPv6 ดังนั้นตัวเกตเวย์จะกำจัด IPv4 header ออก เหลือแต่ IPv6 แพ็กเก็ตแล้วส่งต่อไปยังปลายทางที่ใช้หมายเลข IPv6 ที่ระบุใน IPv6 header การทำ Tunnel สำหรับใช้งาน IPv6 มีหลายวิธี เช่น

1) Manually Configured Tunnel คือการติดตั้งอุโมงค์ด้วยมือเหมาะสำหรับการเชื่อมต่อสองเครือข่าย IPv6 เข้าด้วยกัน ผ่านเครือข่าย IPv4 โดยต้องมีอุปกรณ์เกตเวย์ทั้งสองฝั่งทำหน้าที่เป็นทางเข้าและทางออกของอุโมงค์ โดยเกตเวย์แต่ละด้านจะต้องทราบหมายเลข IPv6/IPv4 ของปลายทางอุโมงค์อีกด้าน ผู้ดูแลระบบทั้งสองฝั่งจะต้องใส่หมายเลข IP address ของปลายทางอุโมงค์เข้าไปเอง วิธีนี้จึงต้องการการดูแลสูงและจำเป็นต้องใช้ public IPv4 address ที่เกตเวย์ทั้งสองฝั่ง

2) 6to4 Tunnel (RFC3056) แตกต่างจาก Manually Configured Tunnel ที่เกตเวย์แต่ละด้านของอุโมงค์ไม่ต้องเก็บหมายเลข IPv4/IPv6 ของเกตเวย์อีกฝั่ง เกตเวย์จะทราบหมายเลข IPv4/IPv6 ของเครือข่ายปลายทางได้จาก Destination IP address เกตเวย์ 6to4 Tunnel ใช้ IPv6 Prefix พิเศษขึ้นต้นด้วย 2002 และตามด้วย IPv4 address ในรูปเลขฐานสิบหก ดังนั้น 6to4 Prefix จะมีความยาวอย่างน้อย 48 บิต เช่น หาก IPv4 address ของเกตเวย์คือ 202.57.124.186 (แปลงเป็นเลขฐานสิบหกได้ CA39:7CBA) IPv6 prefix ของเกตเวย์คือ 2002:CA39:7CBA::/48 การกำหนด Prefix วิธีนี้จะทำให้ทราบหมายเลข IPv4 ของเกตเวย์ปลายทางได้โดยอัตโนมัติ

ผู้ดูแลระบบไม่ต้องตั้งค่าใดๆ อย่างไรก็ตามเกตเวย์จำเป็นต้องใช้ public IPv4 address ในการเชื่อมต่อเช่นเดียวกับวิธีแรก

3) Teredo (RFC 4380) เป็นเทคนิคที่ช่วยสร้างอุโมงค์ให้แก่เครือข่ายที่ใช้ Network Address Translation (NAT) ช่วยแก้ไขข้อจำกัดของอุโมงค์สองประเภทแรก Teredo ใช้หลักการห่อหุ้ม IPv6 แพ็กเก็ต ด้วย UDP/IPv4 แพ็กเก็ต การใช้งานต้องมี Teredo Server มีหน้าที่จัดการค่าการเชื่อมต่อระหว่าง Teredo Client และ Teredo Relay ซึ่งเป็นเสมือนปลายทางอุโมงค์สองด้าน Teredo ใช้ IPv6 prefix 2001:0000::/32

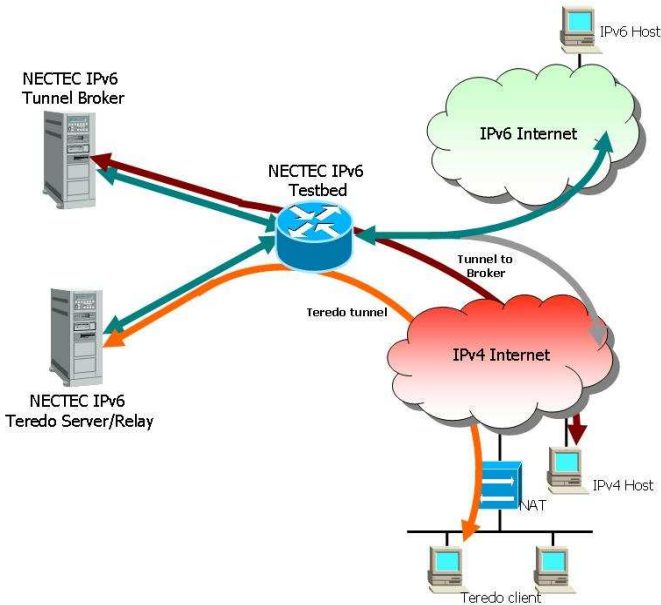
### 2.2 มาตรฐาน IPv6 Tunnel Broker

เทคนิคการทำ IPv6 Tunnel Broker ปรากฏอยู่ใน RFC 3053 [1] ซึ่งนำเสนอโมเดลการใช้ IPv6 Tunnel Broker ผ่านเว็บไซต์ เพื่ออำนวยความสะดวกกับผู้ใช้ แต่มีข้อเสียคือ ถ้าหมายเลข IPv4 ของผู้ใช้งานมีการเปลี่ยนแปลง อุโมงค์ที่ติดตั้งไว้จะใช้ไม่ได้ ผู้ใช้ต้องมาเปลี่ยนแปลงข้อมูล IPv4 ด้วยตนเองที่ระบบ และมาตรฐานนี้ไม่รองรับการใช้งานผ่าน NAT ปัญหาดังกล่าวถูกจัดการด้วย Tunnel Setup Protocol (TSP) [2] ซึ่งใช้ signaling protocol ในการติดตั้งค่าทั้งสองฝั่งระหว่างฝั่งผู้ใช้และฝั่ง tunnel server ส่งผลให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงหมายเลข IPv4 อัตโนมัติและการทำงานผ่าน NAT

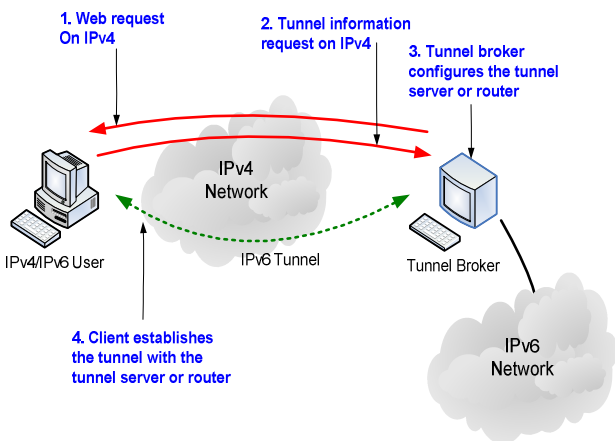
ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตหลายๆ ที่ในต่างประเทศให้บริการ IPv6 Tunnel Broker ฟรี แต่เนื่องจากเป็นผู้ให้บริการต่างประเทศ หากผู้ใช้สองจุดในประเทศไทยต้องการสื่อสารกันผ่าน IPv6 ข้อมูลจะถูกส่งข้ามไปยังเครือข่ายของ broker ที่ต่างประเทศก่อนจะย้อนกลับมาหาปลายทางในประเทศไทย ผู้ใช้ทั้งสองจุดในประเทศไทยไม่สามารถส่งข้อมูลติดต่อกันโดยตรง ทำให้ประสิทธิภาพในการสื่อสารลดลง ตัวอย่างบริการ IPv6 Tunnel Broker ในต่างประเทศ ได้แก่ Hexago ในแคนาดาซึ่งใช้หลักการ TSP ช้างต้น Hurricane Electric ในอเมริกา SixXS ในยุโรปและ Academia Sinica ที่ได้ให้บริการแต่ละแห่งแตกต่างกันในแง่ของระบบปฏิบัติการที่รองรับ ความยาวของ prefix ที่แจกและความสามารถใช้งานร่วมกับ NAT [3-6]

### 3. รายละเอียดการพัฒนา

#### 3.1 ภาพรวมของระบบ



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของระบบ IPv6 Tunnel Broker



รูปที่ 2 แสดงการทำงานของระบบ IPv6 Tunnel Broker

โครงสร้างของระบบ IPv6 Tunnel Broker ที่เราพัฒนาขึ้น ประกอบด้วยสองส่วน ตามรูปที่ 1

1. IPv6 Tunnel Broker เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อเครือข่ายระหว่าง IPv4 และ IPv6 ทำหน้าที่เป็นทั้ง web server, tunnel server และ dns server โดยผู้ใช้จะต้องลงทะเบียนผ่านเว็บที่นี้เพื่อขอใช้งาน IPv6 จากนั้นตัว IPv6 Tunnel Broker นี้จะสร้าง tunnel รอ และส่งสคริปต์ให้ผู้ใช้นำไปติดตั้งบนเครื่องของตน Script นี้จะทำการตั้งค่าเชื่อมต่อที่ปลายอุโมงค์ฝั่งผู้ใช้ เมื่อเสร็จสิ้นผู้ใช้สามารถใช้งานเครือข่าย IPv6 ผ่านทาง tunnel ที่ถูกสร้างเตรียมไว้ ข้อมูลที่วิ่งสู่ IPv6 Internet จะวิ่งผ่าน Tunnel Broker นี้

2. Teredo Server/Relay เป็นทั้งอุปกรณ์ server และ relay ในตัวเดียว ช่วยจัดการสร้างอุโมงค์ในกรณีที่ใช้มีการใช้งาน NAT ลักษณะการทำงานคือผู้ใช้จะต้องลงทะเบียนผ่านเว็บที่ IPv6 Tunnel Broker ซึ่งจะตรวจสอบว่าผู้ใช้ใช้ private IPv4 address จึงส่งต่อข้อมูลการเชื่อมต่อไปให้ Teredo Server เพื่อขอใช้งาน โดย Teredo Server จะตั้งค่าเชื่อมต่อที่ปลายอุโมงค์ฝั่ง Teredo Relay และแจกชุด Teredo prefix ให้กับฝั่งผู้ใช้ ผู้ใช้ต้องติดตั้งโปรแกรมเพื่อใช้งาน Teredo Client ที่เครื่องของตน ข้อมูลที่วิ่งสู่ IPv6 Internet จะวิ่งผ่าน Teredo Relay นี้

#### 3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

##### 3.2.1 ระบบจัดการผู้ใช้ (User management)

IPv6 Tunnel Broker แบ่งผู้ใช้เป็น 2 กลุ่ม คือผู้ใช้ธรรมดาและผู้ดูแลระบบ ผู้ใช้ธรรมดาสามารถลงทะเบียนผ่าน website <http://tb.ipv6.nectec.or.th> โดยตรง ระบบจะสร้างบัญชีการใช้งานประกอบด้วย username และ password โดยจะแจ้งให้ทราบทาง e-mail ที่ลงทะเบียนไว้ ผู้ใช้สามารถเปลี่ยน password ของตนเองได้ ผู้ใช้สามารถดูและแก้ไขข้อมูลส่วนตัวได้ ระบบจะลบบัญชีที่ไม่มีการใช้งานมากกว่า 1 ปี นอกจากนี้ผู้ใช้ธรรมดาสามารถสร้าง tunnel ใหม่โดยมีอายุ 30 วัน สามารถต่ออายุ tunnel ได้ และสามารถดูรายละเอียดและสถิติการใช้งานเกี่ยวกับ tunnel ของตนได้

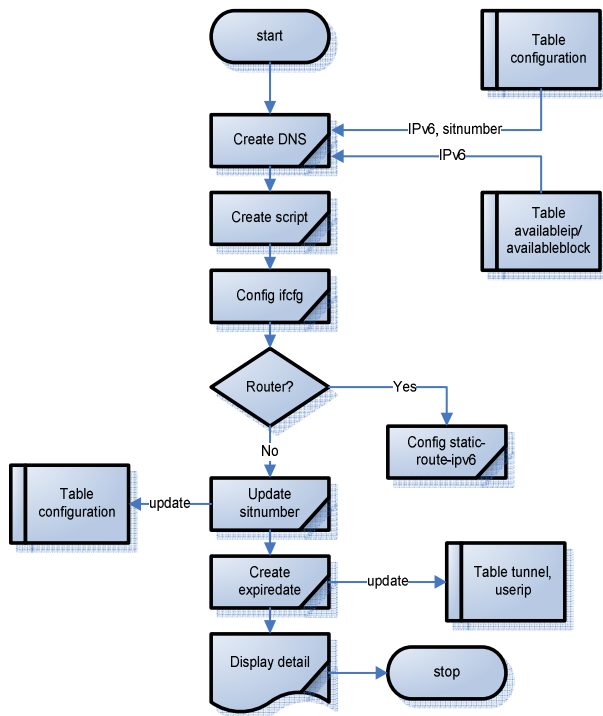
ส่วนบัญชีของผู้ดูแลระบบถูกสร้างขึ้นโดยผู้ดูแลระบบใหญ่เท่านั้น ผู้ดูแลระบบสามารถดูและแก้ไขบัญชีผู้ใช้ธรรมดาสามารถดูรายละเอียดจำนวน tunnel ในระบบและภาพรวมการเข้าใช้งานและสถิติการส่งข้อมูลผ่าน tunnel ทั้งหมด นอกจากนี้ผู้ดูแลระบบสามารถทำทุกอย่างที่ผู้ใช้ธรรมดาทำได้

##### 3.2.2 ระบบจัดการ Tunnel (Tunnel Management)

IPv6 Tunnel Broker จะบันทึก IPv4 address ของ user ที่ลงทะเบียนเพื่อสร้าง tunnel ใหม่ และจะจัดสรร IPv6 address เบอร์เดียวหรือชุดของ /64 IPv6 prefix (แล้วแต่ว่าผู้ใช้ลงทะเบียนขอใช้งานเป็นโฮสต์หรือเราเตอร์) พร้อมทั้งบันทึกวันที่ tunnel ถูกสร้างและกำหนดให้มีอายุการใช้งาน 30 วัน นอกจากนี้ระบบจะสร้าง domain name สำหรับแต่ละ

tunnel มีรูปแบบ username-n.tb.ipv6.nectec.or.th โดยที่ n คือจำนวน tunnel ที่ผู้ใช้คนนี้มี เนื่องจากผู้ใช้ 1 คน (1 username) อาจลงทะเบียนขอสร้าง tunnel จากหลายเครื่อง ระบบอนุญาตให้สร้าง 1 tunnel ต่อ 1 IPv4 address เท่านั้น

จากนั้นระบบจะสร้างสคริปต์สำหรับติดตั้งจำนวน 2 ชุด สำหรับระบบปฏิบัติการ Windows XP และ Linux อย่างละชุด เพื่อให้ผู้ใช้เลือกดาวน์โหลดไปใช้ และระบบจะสร้าง tunnel interface สำหรับปลายทางฝั่งตนเองรอไว้ ระบบจะลบ tunnel ที่หมดอายุถ้าไม่ได้รับการต่ออายุภายใน 10 วัน ลำดับขั้นตอนการสร้าง tunnel แสดงในรูปที่ 3 ตัวอย่างสคริปต์สร้าง tunnel บน Windows XP แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 แสดงลำดับขั้นตอนการสร้าง Tunnel

```

>ipv6 install
>netsh interface ipv6 install
>netsh interface ipv6 add v6v4tunnel TB <user IPv4> <TB IPv4>
store=persistent
>netsh interface ipv6 add address TB <user IPv6> store=persistent
>netsh interface ipv6 add route ::/0 TB <TB IPv6> store=persistent
>netsh interface ipv6 set interface TB forwarding=enabled
store=persistent
    
```

รูปที่ 4 ตัวอย่างสคริปต์สร้าง tunnel บน Windows XP

สำหรับการสร้าง Teredo tunnel สำหรับผู้ใช้ NAT รองรับ เฉพาะผู้ใช้ระบบปฏิบัติการแบบ Linux ขั้นตอนการสร้าง tunnel เหมือนข้างต้น โดยระบบใช้ซอฟต์แวร์ Miredo [7] ช่วยจัดการ Teredo tunnel ดังตัวอย่างในรูปที่ 5

```

#!/bin/bash
cd /usr/local/src
wget http://www.remlab.net/files/miredo/miredo-1.0.4.tar.bz2
tar xvjf miredo-1.0.4.tar.bz2
cd miredo-1.0.4
./configure --prefix=/usr/local/miredo
make
make install
    
```

รูปที่ 5 ตัวอย่างสคริปต์ใช้งาน Teredo บน Linux

### 3.2.3 ระบบจัดการ IP address (IP Address Management)

IPv6 Tunnel Broker จะจัดสรร IPv6 address หรือ IPv6 prefix ของ tunnel ที่หมดอายุให้กับผู้ใช้งานรายใหม่ หากไม่มีหมายเลขที่หมดอายุจะจัดสรร IPv6 address เริ่มตั้งแต่ 2001:f00:1ffc:1:0:ffe::/96 และ IPv6 prefix เริ่มตั้งแต่ 2001:f00:1ffc:ffff::/32 เรียงลำดับจากมากไปน้อย หมายเลข IPv6 ที่ปลายทางฝั่ง tunnel server จะลงท้ายด้วย 1 เช่น 2001:f00:1ffc:1:0:ffe:0:1 ฝั่งผู้ใช้จะลงท้ายด้วย 2 เช่น 2001:f00:1ffc:1:0:ffe:0:2

### 3.2.4 ระบบบันทึกการใช้งาน (Usage Management)

IPv6 Tunnel Broker จะบันทึกเวลาของผู้ใช้งานเพื่อดูความถี่ การเข้าใช้งาน บันทึกจำนวนครั้งการต่ออายุ tunnel และ บันทึกสถิติปริมาณการใช้งานต่างๆ แล้วนำเสนอในรูปแบบของกราฟ

## 3.3 ข้อจำกัดของระบบ

ระบบ IPv6 Tunnel Broker ที่พัฒนาขึ้นปัจจุบันยังไม่สามารถรองรับ NAT บน Windows เนื่องจากซอฟต์แวร์ Miredo ที่ใช้รองรับเพียง Linux และ BSD และยังไม่มีการพัฒนา Teredo client บน Windows สำหรับ IP ที่ไม่ได้ผ่าน NAT สามารถใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Windows และ Linux ตระกูล Fedora เท่านั้น เนื่องจากการตั้งค่าการเชื่อมต่อเครือข่าย ใน Linux แต่ละตระกูลจะมีคำสั่งแตกต่างกันออกไป

## 4. การทดสอบการใช้งาน

### 4.1 สภาพแวดล้อมในการทดสอบ

ระบบ IPv6 Tunnel Broker ได้เปิดให้บริการทดสอบฟรีแก่บุคคลทั่วไปที่ <http://tb.ipv6.nectec.or.th> ตั้งแต่กุมภาพันธ์ 2550 ถึงตุลาคม 2551 โดยระบบติดตั้งอยู่บนเซิร์ฟเวอร์ Pentium IV 2.4 GHz หน่วยความจำ 512 MB ความจุดิสก์ 80 GB เซิร์ฟเวอร์นี้มีสองอินเทอร์เฟซ อินเทอร์เฟซแรกเชื่อมต่อเครือข่าย IPv4 แบนด์วิดท์ 100 Mbps อินเทอร์เฟซที่สองต่อ Native IPv6 ไปยังเครือข่ายไทยสาร ซึ่งมีแบนด์วิดท์เชื่อมต่อไปยังเครือข่าย IPv6 ต่างประเทศที่ 155 Mbps

### 4.2 ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

#### 4.2.1 ผลการใช้งานจากฐานข้อมูล

ในช่วงทดสอบพบว่า มีผู้ลงทะเบียนเพื่อใช้งาน IPv6 Tunnel Broker จำนวน 419 คน (username) มีการสร้าง tunnel แบบธรรมดาจำนวน 225 tunnels โดยผู้ใช้ 125 คน (ผู้ใช้ 1 คนอาจสร้างหลาย tunnel ได้บนหลายคอมพิวเตอร์) ผู้ใช้เลือก tunnel ชนิด end-host 153 tunnels ชนิด router 72 tunnels จำนวน public IPv4 ที่ลงทะเบียนใช้ tunnel มีทั้งสิ้น 207 IP address นอกจากนี้มีจำนวน tunnel ที่ผ่านการต่ออายุ 18 tunnels ในส่วนของผู้ใช้ที่ไม่มี public IPv4 address มีการเชื่อมต่อแบบ Teredo ทั้งหมด 59 tunnels โดยผู้ใช้ 59 คน

จากการเก็บรวบรวมปริมาณข้อมูล IPv6 ที่รับส่งโดยผู้ใช้ IPv6 tunnel broker พบจำนวน IPv6 flow 376,459 flows จำนวนปลายทางที่ผู้ใช้ติดต่อด้วยมีทั้งหมดเพียง 39 ปลายทาง (นับเฉพาะปลายทางที่ไม่ใช่ prefix 2001:f00:1ffc::/48 ซึ่งเป็น prefix ของผู้ใช้ระบบ) คาดว่าเป็นเพราะปัจจุบันยังไม่ค่อยมี server ที่ให้บริการ IPv6 application มากนัก ปลายทางที่มีการรับส่งข้อมูล IPv6 มากที่สุดได้แก่ 2001:4c40:1::6667 แอปพลิเคชันที่มีการใช้งาน

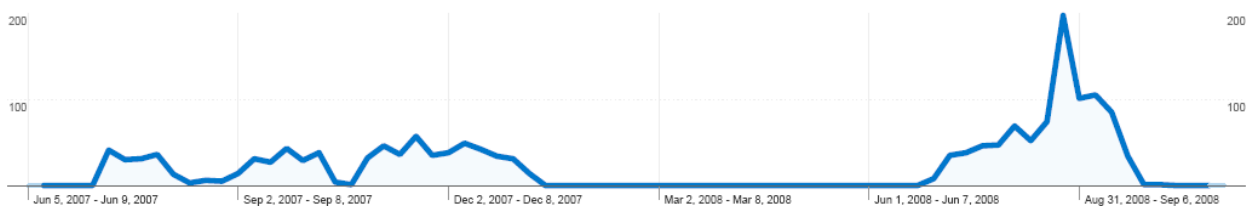
IPv6 มากที่สุดได้แก่ irc และ http ตามลำดับ จำนวนพอร์ตต้นทางและปลายทางทั้งหมดที่พบคือ 288 และ 302 พอร์ตตามลำดับ ในการทดสอบระบบรองรับการสร้าง tunnel interface สูงถึง 875 อินเทอร์เฟซโดยไม่มีปัญหา

#### 4.2.2 ผลการใช้งานจาก Google Analytics

Google Analytics [8] ถูกนำมาใช้เก็บสถิติจำนวนผู้เข้าชมเว็บ IPv6 Tunnel Broker ตั้งแต่มิถุนายน 2550 ปริมาณการใช้งานระบบมีรายละเอียดดังนี้ จำนวนการเข้าชมชมเว็บไซต์ทั้งสิ้น 2,062 ครั้ง จากผู้ชม 1,535 คน มีเพียง 27% ของผู้เยี่ยมชมที่ลงทะเบียนใช้งานจริง จำนวนหน้าเว็บที่ถูกเรียกดูทั้งสิ้น 11,095 หน้า โดยเฉลี่ย 5.38 หน้าต่อคน รูปที่ 6 แสดงปริมาณผู้เยี่ยมชมในสัปดาห์ต่างๆ ตั้งแต่มิถุนายน 2550 – ตุลาคม 2551 จำนวนผู้ชมสูงสุด ณ วันที่ 30 สิงหาคม 2551 จำนวน 75 คน ส่วนช่วง ธันวาคม 2550 – มิถุนายน 2551 ไม่มีผู้ใช้เพราะระบบหยุดให้บริการชั่วคราว

ตารางที่ 1 แจกแจงรายชื่อประเทศต้นทางของผู้ใช้ อันดับแรกคือประเทศไทยจำนวน 1,523 คน คิดเป็น 73.86% ที่น่าสนใจคืออันดับสองและสามคือผู้ใช้จากประเทศจีน 7.81% และอิตาลี 4.90% ตามลำดับ ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต 10 อันดับแรกคือ ISP ในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2 ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ผู้ใช้งาน IPv6 Tunnel Broker มีการเชื่อมต่อแบบ DSL แสดงให้เห็นว่าบริการ Tunnel Broker นี้ถูกใช้งานกับผู้ใช้ในตามบ้านเป็นหลักตรงตามวัตถุประสงค์

ตารางที่ 4 แสดงประเภทของระบบปฏิบัติการและเบราว์เซอร์ของผู้ใช้ ผลปรากฏว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่ใช้ Windows และ Internet Explorer ซึ่งในการพัฒนาเราได้เน้นทดสอบระบบ กับ Internet Explorer และ Firefox เป็นหลัก นับว่าเราคาดการณ์ได้ถูกต้องเพราะผู้ใช้กว่า 94% ใช้เบราว์เซอร์หนึ่งใน



รูปที่ 6 จำนวนผู้เยี่ยมชมรายสัปดาห์

สองตัวนี้ นอกจากนี้นี้ระบบ IPv6 Tunnel Broker ปัจจุบันรองรับระบบปฏิบัติการ Windows และ Linux ซึ่งนับเป็นกว่า 98% ของผู้ใช้ทั้งหมด

ตารางที่ 1 รายชื่อประเทศต้นทางของผู้ใช้

Country/Territory	Visits	Pages/Visit	Avg. Time on Site
Thailand	1,523	5.10	00:03:54
China	161	5.55	00:04:53
Italy	101	8.99	00:04:54
Slovenia	31	9.16	00:06:14
Bulgaria	29	3.86	00:02:25
United States	29	3.00	00:02:18

ตารางที่ 2 รายชื่อ ISP ต้นทางของผู้ใช้

Network Location	Visits	Pages/Visit	Avg. Time on Site
truehisp	143	4.61	00:03:47
imported inetnum object for kasets	116	8.83	00:06:09
adsl huaweibb truehisp infrastructure true internet co. ltd.	114	6.54	00:05:10
tot public company limited bangkok	111	4.86	00:04:08
adsl huaweibb truehisp infrastructure true internet co. ltd.	94	5.70	00:06:01
maxnet internet service provider bangkok	87	3.91	00:02:04
true internet co. ltd.	70	4.80	00:04:04
uninet(inter-university network)	52	2.96	00:03:12
cat telecom data comm. dept intrenet office	50	4.60	00:03:09
tot adsl ip address pool	45	3.00	00:02:55

ตารางที่ 3 รูปแบบการเชื่อมต่อของผู้ใช้

Connection Speed	Visits	Pages/Visit	Avg. Time on Site
Unknown	1,111	5.40	00:03:59
DSL	556	5.55	00:04:29
Dialup	196	5.68	00:04:11
T1	127	4.05	00:02:47

ตารางที่ 4 ระบบปฏิบัติการและเบราว์เซอร์ของผู้ใช้

Browser and OS	Visits	Visits
Internet Explorer / Windows	1,268	61.49%
Firefox / Windows	568	27.55%
Firefox / Linux	110	5.33%
Opera / Windows	35	1.70%
Mozilla / Linux	18	0.87%
Safari / Windows	12	0.58%
Chrome / Windows	10	0.48%
Firefox / Macintosh	8	0.39%
Safari / Macintosh	6	0.29%
Mozilla / Windows	5	0.24%

## 5. บทสรุป

บทความนี้แนะนำเสนอระบบ IPv6 Tunnel Broker เพื่ออำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อเครือข่าย IPv6 สำหรับผู้ใช้ที่บ้าน ระบบนี้เหมาะสำหรับผู้ใช้ในประเทศไทยเพราะปัจจุบัน

ผู้ใช้ตามบ้านไม่มีทางเลือกในการเข้าถึงเครือข่าย IPv6 ยังไม่มี ISP รายใดให้บริการ IPv6 DSL หรือ Dialup แม้ว่าจะมีบริการ Tunnel Broker ของต่างประเทศให้เลือกใช้ได้ แต่การส่งข้อมูลข้ามประเทศ ทำให้ประสิทธิภาพการสื่อสารนั้นไม่ดีเท่าบริการในประเทศ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์และมีผู้ใช้ในประเทศไทยจำนวนมากสนใจใช้บริการ IPv6 Tunnel Broker นี้

### 5.1 แนวทางการพัฒนาต่อ

ผลการทดสอบพบว่าผู้ใช้สนใจระบบ IPv6 Tunnel Broker จากต่างประเทศจำนวนมาก จึงควรปรับปรุงระบบให้มี GUI ทั้งภาษาไทยและอังกฤษเพื่อรองรับผู้ใช้กลุ่มนี้ นอกจากนี้ยังพบกลุ่มผู้ใช้ที่ใช้อยู่บนปฏิบัติการนอกเหนือจาก Windows XP และ Linux จึงควรพิจารณาสร้างสคริปต์เพิ่มเติมเพื่อรองรับ Macintosh, Windows Vista หรือ Linux อื่นนอกเหนือจาก Fedora Core ท้ายสุดคือการรองรับผู้ใช้ NAT บน Windows

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ระบบ IPv6 Tunnel Broker นี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก Pan-Asia ICT R&D Grants Programme สนับสนุนโดย UNDP-APDIP, IRDC, และ APNIC Project Ref. No. 0502A6\_S01

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Durand, P. Fasano, I. Guardini, and D. Lento, "IPv6 Tunnel Broker," RFC 3053, January 2001.
- [2] M. Blanchet and F. Parent, "IPv6 Tunnel Broker with the Tunnel Setup Protocol (TSP)," Internet Draft, May 2008.
- [3] Hexago, <http://www.hexago.com>.
- [4] Hurricane Electric Free IPv6 Tunnel Broker, <http://tunnelbroker.net>.
- [5] SixXS IPv6 Deployment, <http://www.sixxs.net>.
- [6] Gateway6 HTTP Server, <http://tb2.ipv6.ascc.net>.
- [7] Miredo: Teredo IPv6 tunneling for Linux and BSD, <http://www.remlab.net/miredo>.
- [8] Google Analytics, <http://www.google.com/analytics>.