

การจำลองข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการสร้างภาพโทโมกราฟีจากภาพวัตถุ

สมยศ ศรีสถิตย์

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขต ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 , E-mail: Somyot.S@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีหรือภาพตัดขวางนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ซึ่งต้องมีความถูกต้องแม่นยำ และมีจำนวนข้อมูลเพียงพอจึงจะได้ภาพตัดขวางที่มีความคมชัดและมีรายละเอียดเป็นที่ยอมรับได้ แต่ในการออกแบบและสร้างระบบสแกนจำเป็นต้องมีอุปกรณ์และเครื่องวัดปริมาณรังสีที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นการจำลองข้อมูลโปรไฟล์เพื่อใช้ในการเรียนการสอน จึงเป็นวิธีที่สามารถให้ผลอย่างรวดเร็วและมีคุณภาพของภาพโทโมกราฟีใกล้เคียงกับข้อมูลโปรไฟล์จริง

คำสำคัญ การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ข้อมูลโปรไฟล์

Simulation of Profiles Data For Computed Tomography Using Object Images

Somyot Srisatit

Department of Nuclear Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Phayatai Road, Patumwan, Bangkok 10330, E-mail: Somyot.S@chula.ac.th

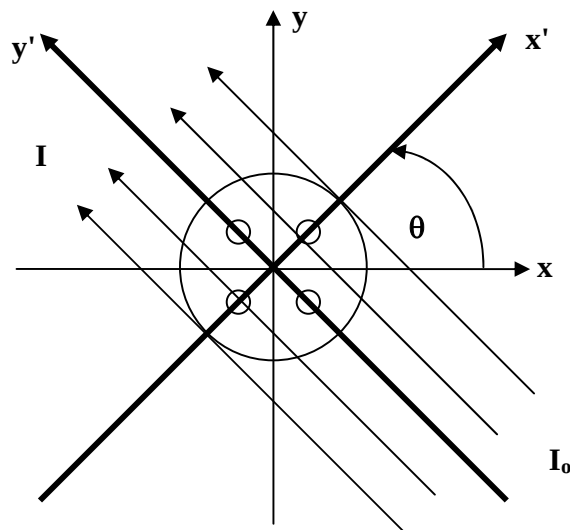
Abstract

It is necessary to use a scanning system to obtain the profiles data for computed tomographic images. A good profile data can give a good contrast and resolution. For the scanning system, high efficiency and high price of radiation equipments must be used. So, the simulated profiles data to obtain a good CT images quality as same as the real one for the demonstration can be used.

Keywords: computed tomographic images, profile data

1. บทนำ

ภาพโทโมกราฟี (computed tomography) หรือที่เรียกว่า “ภาพตัดขวาง (cross section image)” นั้น เป็นภาพที่บอกถึงรายละเอียดในแนวตัดขวาง ซึ่งจะมองเห็นลักษณะภายในของวัตถุตัวอย่างทั้งรูปร่างและตำแหน่งและความผิดปกติภายในวัตถุ การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีซึ่งเป็นการตรวจสอบโดยไม่ทำลายและเป็นที่ยอมรับมากในปัจจุบัน เพราะสะดวกรวดเร็ว ให้ผลถูกต้องและแม่นยำ แต่การได้มาซึ่งข้อมูลโปรไฟล์นั้นต้องใช้ระบบสแกนที่ประกอบไปด้วยเครื่องมือวัดรังสี และอุปกรณ์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ จะต้องมีความแม่นยำสูงรวมทั้งมีราคาแพง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคการจำลองข้อมูลโปรไฟล์ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อนำข้อมูลดังกล่าว มาใช้ในการศึกษาและการเรียนการสอนเป็นหลัก การจำลองข้อมูลโปรไฟล์นั้นเริ่มจากการออกแบบรูปวัตถุตัวอย่างและบันทึกเก็บเป็นไฟล์รูปภาพ (BMP หรือ JPG) จากนั้นใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเรียกไฟล์รูปตัวอย่างไปสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยมุมที่กำหนดไว้และคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเป็นลำดับต่อมา ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้นเลือกใช้วิธีการแบบ Convolution Filter Back-projection ซึ่งมีแผนภาพและรายละเอียดดังรูปที่ (1) ต่อไปนี้



รูปที่ (1) แผนภาพการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์

จากรูปที่ (1) กำหนดให้ลำรังสีถูกส่งออกมาจากต้นกำเนิดด้วยความเข้ม I_0 และทะลุผ่านวัตถุตัวอย่างหนา s ด้วยความเข้ม I พบว่ามีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1)

$$I = I_0 \exp[-f(x,y)dS] \quad (1)$$

โดย $f(x,y)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสี (attenuation coefficient) ต่อตัวอย่าง

จากสมการที่ (1) กำหนดว่า $P(\theta, X) = \ln(I_0/I)$ ซึ่งมุม θ เป็นมุมที่หมุนวัตถุด้วยขนาดน้อย ๆ และเรียกว่า “ข้อมูลโปรไฟล์ (profile data or projection data)” ดังนั้น

$$P(\theta, X) = \int f(x,y) dS \quad (2)$$

เมื่อประยุกต์การแปลงฟูริเยร์สองมิติ (two-dimensional Fourier transform) จะได้

$$F(X,Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) e^{-i(Xx+Yy)} dx dy \quad (3)$$

เขียนฟังก์ชัน $f(x,y)$ ให้อยู่ในพิกัด (r,s) โดยแกน r ทำมุม θ กับแกน x จะได้ฟังก์ชันของการแปลงฟูริเยร์เป็น

$$F(X,Y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(r,s) e^{-i[X(r\cos\theta - s\sin\theta) + Y(r\sin\theta + s\cos\theta)]} dr ds \quad (4)$$

เมื่อ R และ S คือ $X\cos\theta + Y\sin\theta$ และ $Y\cos\theta - X\sin\theta$ ตามลำดับ และแปลงฟูริเยร์แบบผกผันจะได้ฟังก์ชัน $f(x,y)$ เป็นดังสมการที่ (5)

$$f(x,y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(R,\theta) e^{iR(x\cos\theta + y\sin\theta)} R dR d\theta \quad (5)$$

ฟังก์ชัน $F(R, \theta)$ ก็คือ $F_\theta(R, S)|_{S=0}$ หรือ $P(\theta, R)$

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(\theta, R) e^{iRr} |R| dR d\theta \quad (6)$$

จากสมการที่ (6) แทนค่า $|R|$ ด้วย $H(R)$, โดย $h(r)$ เป็นการแปลงฟูริเยร์แบบผกผันของ $H(R)$

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(\theta, R) \otimes h(r-r') d'r d\theta \quad (7)$$

เมื่อ $h(r)$ คือ ฟังก์ชันของการกรอง (filter function) ในที่นี้เลือกใช้ “Shepp and Logan filter function”
ดังสมการที่ (8)

$$h(k) = \frac{2}{\pi^2 a(1-4k^2)} \quad (8)$$

โดย a = ระยะห่างระหว่างเรย์ซัม

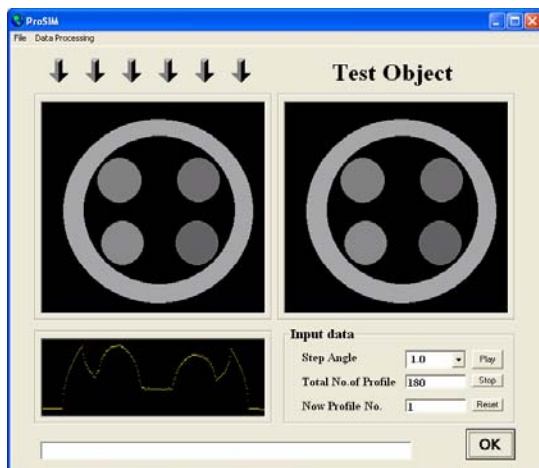
k มีค่าจาก $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots, \pm N/2$

N = จำนวนเรย์ในหนึ่งโปรไฟล์

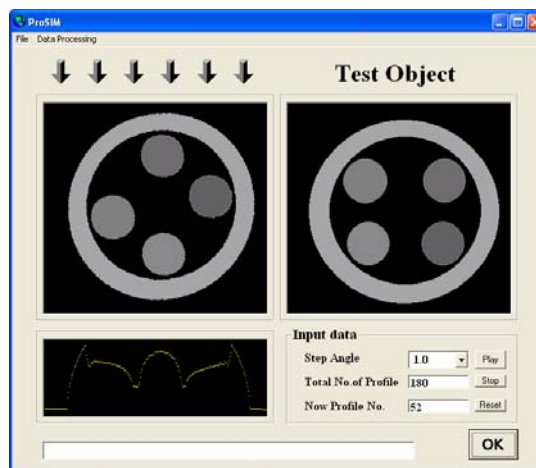
2. วิธีการ

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมจำลองสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยมีขั้นตอนเริ่มแรกคือ เปิดไฟล์ข้อมูลภาพวัตถุตัวอย่างที่สร้างขึ้น และกำหนดค่ามุมในการหมุนของภาพวัตถุ ซึ่งสามารถหมุนได้ด้วยมุม 1.8, 3.6, 7.2 หรือ 10 องศา กำหนดให้ว่าลำรังสีขนานถูกส่งผ่านทะลุวัตถุไปสู่ด้านตรงข้ามด้วยค่าความเข้มที่เกิดจากการรวมค่าความเข้มของโทนสีเทาตามแนวทะลุผ่านของลำรังสี โดยระดับความเข้มของสีเทาเริ่มจากขาวถึงดำจำนวน 256 ระดับ (0 – 255) เมื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาเขียนกราฟจะได้กราฟข้อมูลโปรไฟล์ของมุนนั้น ๆ และเมื่อหมุนภาพวัตถุด้วยมุนน้อย ๆ โปรแกรมก็จะสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์อย่างอัตโนมัติจนกระทั่งครบตามจำนวนข้อมูลโปรไฟล์ที่กำหนดไว้ จะเห็นว่ารูปร่างของข้อมูล

โปรไฟล์เปลี่ยนแปลงไปตามมุมที่หมุนเปลี่ยนไป ดังรูปที่ (2)ก – (2)ข ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ 1 เป็นรูปวัตถุทรงกระบอกภายในมีแท่งวัตถุจำนวน 4 แท่ง แต่ละแท่งกำหนดระดับค่าสีแตกต่างกัน (ค่าระดับสีแทนด้วยความหนาแน่นของวัตถุ)



(ก)



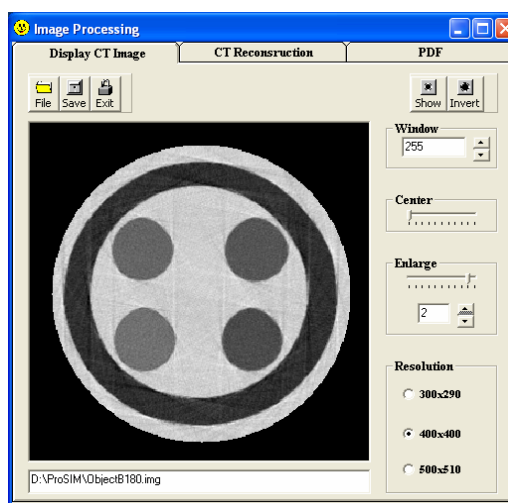
(ข)

รูปที่ (2) โปรแกรมสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพวัตถุตัวอย่างที่ 1

ในที่นี้ข้อมูลโปรไฟล์เกิดจากการรวมความเข้มของระดับค่าสีตามแนวของลำรังสีจากด้านบนลงล่าง โดยกำหนดให้หมุนภาพวัตถุด้วยมุมทีละ 1 องศา จำนวนข้อมูลโปรไฟล์ทั้งหมดเท่ากับ 180 ข้อมูล และจำนวนเรย์ซัม (ray-sum) แต่ละโปรไฟล์เท่ากับ 300 เรย์ซัม ข้อมูลดังกล่าวเปรียบเสมือนว่าเป็นข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากการที่รังสีลำขนานทะลุผ่านวัตถุ แต่ในความเป็นจริงนั้นรังสีอาจเกิดการกระเจิงและการลดทอนเนื่องจากวัตถุ ทำให้ความคมชัดของข้อมูลโปรไฟล์ขาดหายไปบางส่วน แต่ข้อมูลโปรไฟล์จากการจำลองนั้นไม่เกิดการกระเจิงของรังสี จึงดูเหมือนว่าข้อมูลโปรไฟล์มีความคมชัดมากกว่า เมื่อนำข้อมูลโปรไฟล์ทั้ง 180 โปรไฟล์ มาเขียนเรียงต่อกันเป็นภาพ Sinogram จะเห็นเสมือนว่าวัตถุมีการหมุนไปด้วยมุมน้อย ๆ ดังรูปที่ (3)ก และเมื่อนำข้อมูลโปรไฟล์ที่สแกนได้ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี พบว่าภาพที่ได้มีลักษณะเป็นภาพตัดขวางแบบเดียวกันกับภาพวัตถุตัวอย่าง แต่แสดงระดับสีเทาจาก 0 – 255 ดังแสดงในรูปที่ (3)ข



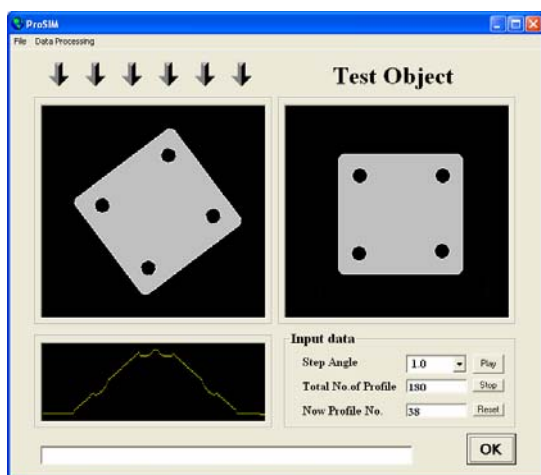
(ก)



(ข)

รูปที่ (3) ภาพ Sinogram และภาพโทโมกราฟีจากข้อมูลโปรไฟล์ของภาพวัตถุตัวอย่างที่ 1

วัตถุตัวอย่างที่ 2 กำหนดให้แทนด้วยเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส และภายในมีแท่งเหล็กจำนวน 4 เส้น การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์กำหนดให้ ภาพวัตถุหมุนเปลี่ยนไปทีละ 1 องศา จำนวนโปรไฟล์ 180 โปรไฟล์ และจำนวนพิกเซล (pixel) 300 พิกเซลต่อโปรไฟล์ เมื่อสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ครบแล้ว แสดงการเปลี่ยนแปลงในแบบ Sinogram ดังรูปที่ (4)ก – (4)ข



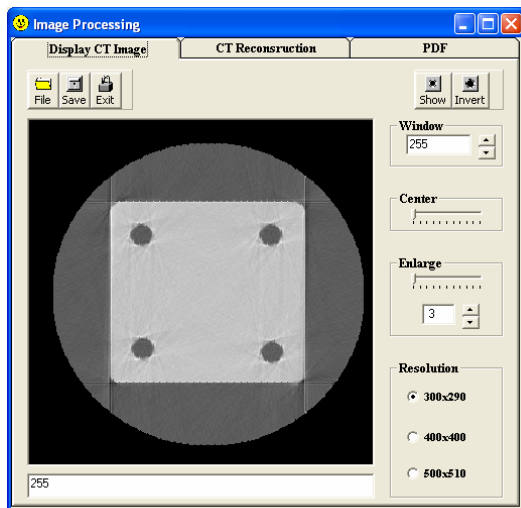
(ก)



(ข)

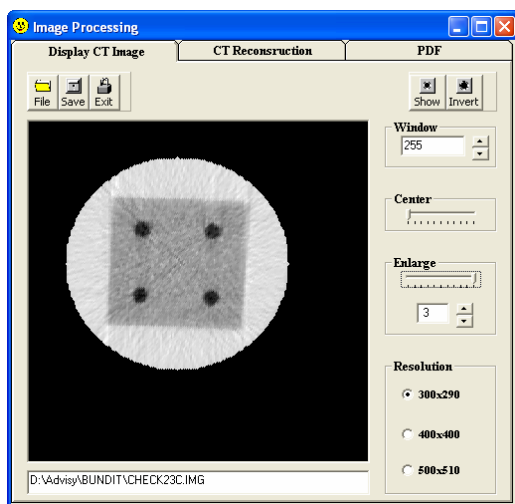
รูปที่ (4) ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 2 และข้อมูลโปรไฟล์แสดงในแบบ Sinogram

เมื่อนำข้อมูลโปรไฟล์ของวัตถุตัวอย่างที่ 2 มาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะได้ภาพ ดังรูปที่ (5) ซึ่งให้ภาพที่คมชัดและมีรายละเอียดดี

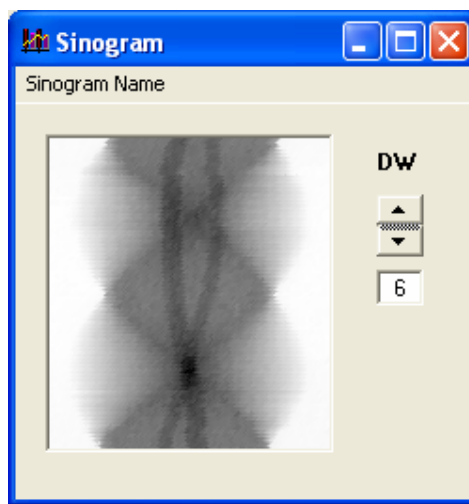


รูปที่ (5) ภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่างที่ 2

ในที่นี้ถ้าเปรียบเทียบกับภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจริงด้วยระบบสแกนที่ออกแบบโดยเฉพาะ ซึ่งจะเห็นว่าภายในภาพมีรอยที่เรียกว่า “รอยบกพร่อง (artifact)” ทำให้ภาพขาดความคมชัดไปบ้าง เพราะว่าการกระเจิงของรังสีภายในเสาคอนกรีต ดังรูปที่ (6)ก และแสดงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลโปรไฟล์ดังรูปที่ (6)ข



(ก)



(ข)

รูปที่ (6) ภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจริง และข้อมูลโปรไฟล์จริง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ในการจำลองข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้น การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสแกนอ่านข้อมูลดังกล่าวสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว โดยอาศัยค่าระดับความเข้มของภาพวัตถุแทนความหนาแน่น ทั้งนี้สมมติว่าลำรังสีขนานเดินทางผ่านวัตถุมาซึ่งด้านตรงข้ามซึ่งถือว่าเป็นหัววัดรังสี จุดภาพแต่ละจุดที่ลำรังสีผ่านจะถูกนำมารวมกันเป็นค่าเรย์ซัม โดยมี 300 เรย์ซัมต่อข้อมูลโปรไฟล์ ซึ่งทั้งสองตัวอย่างมี 180 โปรไฟล์ มุมที่หมุนเปลี่ยนทีละ 1 องศา สำหรับตัวอย่างที่ 1 สมมติว่าท่อทรงกระบอกมีแท่งวัตถุ 4 แท่ง เรียงตัวกันอยู่ภายใน โดยแต่ละแท่งมีความหนาแน่นแตกต่างกัน หลังจากสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แล้วคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ได้ภาพที่มีความสอดคล้องกับตัวอย่าง สังเกตได้จากระดับความเข้มของแท่งวัตถุทั้ง 4 แท่ง แตกต่างกัน แต่อาจมีรอยบกพร่องปรากฏอยู่ในภาพบ้างเล็กน้อย เพราะเกิดจากวิธีการคำนวณแบบ Back-projection ส่วนภาพโทโมกราฟีจากตัวอย่างที่ 2 พบว่ามีความบกพร่องน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับภาพโทโมกราฟีจากเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจริง เพราะข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากการวัดรังสีนั้น มีการกระเจิงของรังสีรวมอยู่ด้วย

4. สรุป

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาโปรแกรมจำลองข้อมูลโปรไฟล์จากภาพวัตถุตัวอย่าง ที่ออกแบบได้ง่ายและสะดวก สามารถเรียนรู้หรือคาดการณ์ได้ว่าวัตถุตัวอย่างที่มีรูปร่างและความหนาแน่นต่าง ๆ จะมีรูปร่างของโปรไฟล์เป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลโปรไฟล์ที่เกิดจากการวัดรังสีจริง เพราะข้อมูลโปรไฟล์จำลองนั้นไม่มีการกระเจิงของรังสีแต่อย่างใด ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีการนี้เป็นจุดเริ่มในการศึกษาเรื่องการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้เป็นอย่างดี เพราะสามารถออกแบบวัตถุตัวอย่างได้หลากหลายชนิด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณอาจารย์ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดรังสีสนับสนุนการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์

6. เอกสารอ้างอิง

1. Umesh Kumar, 2002. Simulation of digital radiographic and CT imaging using a mathematically-defined phantom. Insight January; Vol 44, No 1: 40-45.
2. Willi A. Kalender, 2000 .Computed Tomography, Publicis MCD Werbeagentur GmbH, Munich.